



辽宁省“十二五”普通高等教育本科省级规划教材

船舶制造工艺系列教材

计算机辅助船体建造

Computer-aided Ship Hull Manufacturing



(第二版)

刘玉君 汪骥 张雪彪 李瑞 郭培军 李艳君 编著



大连理工大学出版社

船舶制造工艺系列教材

计算机辅助船体建造

(第二版)

刘玉君 汪 骥 张雪彪 编著
李 瑞 郭培军 李艳君

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助船体建造 / 刘玉君等编著. — 2 版. —
大连 : 大连理工大学出版社, 2014. 2
船舶制造工艺系列教材
ISBN 978-7-5611-8689-3

I. ①计… II. ①刘… III. ①船体—造船—计算机辅
助制造—高等学校—教材 IV. ①U671.99

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 025853 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:14 字数:350 千字
2009 年 8 月第 1 版 2014 年 2 月第 2 版
2014 年 2 月第 1 次印刷

责任编辑:邵 婉

责任校对:朱诗宇

封面设计:波 朗

ISBN 978-7-5611-8689-3

定 价:28.00 元

第二版前言

随着计算机技术的飞跃发展,各个领域对计算机技术的应用情况已成为衡量该领域技术发展水平的重要标志之一。船体建造过程是一个极其复杂的生产过程,其中包含了大量的手工作业,自20世纪60年代初造船业成功研究船体数学放样以来,随着计算机系统、信息处理技术、数控技术的发展,现代船体建造技术跨入了应用计算机信息处理技术和数控技术的新时代。

计算机技术应用于船体建造的初期,针对一些计算工作和某个工艺过程编制一个个独立的程序,目前已发展成对船舶设计、建造、管理等进行综合处理的信息系统,使船体建造的一些生产工序从繁重的手工劳动转变为设计、制造等生产过程的自动化,对降低成本、缩短造船周期、提高产品质量和船体建造技术水平起到非常重要的作用。

本书以现代造船工艺流程为主线,结合船体建造工艺的实际技术,重点讨论了计算机技术和数控技术在船体建造主要工艺过程中的应用思路和方法。全书包括计算机辅助船体建造概述、船体型线数值表示和型线光顺数学描述以及船体建造工艺(外板展开、加工、装配)中的计算机辅助技术等内容。第1章叙述计算机辅助船体建造的概念、构成和特点;第2章讨论船体型线的数值表示;第3章阐述船体型线光顺的数学方法;第4章、第5章和第6章分别介绍了船体外板展开、船体加工和船体装配等工艺过程中应用的计算机辅助技术。

本书由大连理工大学船舶工程学院刘玉君组织编写,刘玉君编写第1章,张雪彪编写第2章,郭培军编写第3章,李瑞编写第4章,汪骥编写第5章,李艳君编写第6章,武汉理工大学胡勇编写了第5章第6节。刘玉君、邓燕萍、汪骥对全书进行了统稿。

在编写过程中还得到了大连理工大学教务处、运载工程与力学学部、船舶工程学院等单位的资助,在此表示感谢,同时,对参加本书审定工作的邢金有教授等各位专家致以衷心感谢,他们为本书提出了许多宝贵意见。我们尽可能引用、整理国内外的新资料和科研成果,以帮助读者对计算机辅助船体建造技术有一定的了解,但由于篇幅和水平所限,书中不够完善和疏漏之处在所难免,恳请广大读者给予批评指正。

编著者

2014年1月

目录

| | |
|------------------------------|----|
| 第 1 章 计算机辅助船体建造概述 | 1 |
| 1.1 计算机辅助制造的概念和构成 | 1 |
| 1.1.1 计算机辅助制造的应用及发展 | 1 |
| 1.1.2 计算机辅助制造技术的概念和构成 | 4 |
| 1.2 计算机辅助船舶建造的特点 | 5 |
| 1.2.1 船舶产品和造船生产过程的特点 | 5 |
| 1.2.2 计算机辅助船舶建造的特点 | 6 |
| 1.3 造船计算机集成制造系统概述 | 8 |
| 1.3.1 造船 CIMS 的概念和构成 | 8 |
| 1.3.2 造船 CIMS 的发展策略 | 10 |
| 1.4 国内外计算机辅助船体设计建造系统举例 | 11 |
| 1.4.1 TRIBON 软件介绍 | 11 |
| 1.4.2 船舶制造三维设计系统 SB3DS | 14 |
| 第 2 章 船体型线的数值表示 | 17 |
| 2.1 拉格朗日插值 | 17 |
| 2.2 差分、差商与牛顿插值 | 20 |
| 2.2.1 差分与差商 | 20 |
| 2.2.2 牛顿插值 | 21 |
| 2.3 埃尔米特插值 | 23 |
| 2.4 样条函数 | 25 |
| 2.4.1 多项式插值的缺陷与分段插值 | 25 |
| 2.4.2 样条函数插值 | 26 |
| 2.4.3 双圆弧样条函数 | 32 |
| 2.5 B 样条函数 | 41 |
| 2.5.1 B 样条的递推定义和性质 | 42 |
| 2.5.2 B 样条曲线的性质 | 44 |

| | | |
|--------------|-----------------------|-----------|
| 2.5.3 | B样条曲线的 de Boor 算法 | 44 |
| 2.5.4 | 反算 B 样条曲线的控制顶点 | 45 |
| 2.6 | 曲线拟合 | 48 |
| 2.6.1 | 最小二乘法原理与多项式拟合 | 48 |
| 2.6.2 | 正交多项式拟合 | 52 |
| 2.6.3 | 非线性模型举例 | 54 |
| 第 3 章 | 船体型线光顺的数学描述 | 57 |
| 3.1 | 船体型线光顺性准则 | 57 |
| 3.1.1 | 船体型线光顺性判别准则 | 58 |
| 3.1.2 | 描述型线光顺性判别准则的数学方法 | 58 |
| 3.1.3 | 型线不光顺的调整原则 | 61 |
| 3.2 | 回弹法光顺船体型线 | 63 |
| 3.2.1 | 单根曲线光顺性的判别方法 | 63 |
| 3.2.2 | 基样条函数与影响向量 | 66 |
| 3.2.3 | 样条曲线不光顺时的调整 | 68 |
| 3.3 | 弯调松弛法型线光顺 | 74 |
| 3.3.1 | 两点边值问题的小参数解法 | 74 |
| 3.3.2 | 旋转坐标轴问题 | 76 |
| 3.3.3 | 连接条件 | 77 |
| 3.3.4 | 单根曲线的光顺 | 78 |
| 3.4 | 圆率序列法光顺船体型线 | 84 |
| 3.4.1 | 光顺性判别准则 | 85 |
| 3.4.2 | 单根曲线型值点的修改方法 | 85 |
| 3.5 | 船体型线的三向光顺 | 90 |
| 3.5.1 | 三向光顺的任务和方法 | 90 |
| 3.5.2 | 决定端点条件的边界线 | 92 |
| 3.5.3 | 端部边界线光顺 | 93 |
| 第 4 章 | 船体外板展开的计算机辅助技术 | 98 |
| 4.1 | 船体外板展开计算的数学基础 | 98 |
| 4.1.1 | 直线方程 | 98 |
| 4.1.2 | 求交点的数学运算 | 99 |
| 4.1.3 | 求圆弧实长 | 102 |
| 4.1.4 | 牛顿法求解函数方程 | 105 |
| 4.1.5 | 数值积分 | 109 |
| 4.2 | 船体外板缝布置的自动排列 | 112 |
| 4.2.1 | 计算曲线上点的坐标及两点间弧长 | 112 |
| 4.2.2 | 肋骨展开线的弦长度与肋骨弯度计算 | 116 |

| | | |
|------------|------------------------------|------------|
| 4.2.3 | 结构线计算 | 117 |
| 4.2.4 | 排板计算 | 118 |
| 4.2.5 | 修正排板计算宽度 | 120 |
| 4.3 | 船体外板展开的测地线法 | 122 |
| 4.3.1 | 作测地线的算法 | 122 |
| 4.3.2 | 肋骨线弧长、上下纵缝线和测地线各段实长计算 | 123 |
| 4.3.3 | 中间肋骨线的肋骨弯度及转角计算 | 124 |
| 4.3.4 | 外板展开图的数值表示 | 125 |
| 4.4 | 船体外板展开的短程线法 | 127 |
| 4.4.1 | 短程线法展开的基本原理 | 127 |
| 4.4.2 | 短程线法展开计算 | 130 |
| 4.4.3 | 展板中误差的处理 | 134 |
| 4.5 | 考虑加工塑性变形因素的船体外板展开方法 | 135 |
| 第5章 | 船体加工的计算机辅助技术 | 140 |
| 5.1 | 数控加工和图形处理 | 140 |
| 5.1.1 | 图形处理的概念 | 140 |
| 5.1.2 | 图形处理语言的构成 | 142 |
| 5.2 | 数控切割技术 | 145 |
| 5.2.1 | 构件的割缝补偿及几何形状处理 | 146 |
| 5.2.2 | 数控套料 | 148 |
| 5.2.3 | 数控切割过程控制的数值计算 | 150 |
| 5.3 | 型材数控冷弯技术 | 155 |
| 5.3.1 | 端点测量控制法 | 155 |
| 5.3.2 | 适应控制法 | 158 |
| 5.3.3 | 弦线测量控制法 | 161 |
| 5.4 | 型材逆直线的数值计算 | 163 |
| 5.4.1 | 逆直线法的基本原理 | 163 |
| 5.4.2 | 逆直线的数值计算 | 165 |
| 5.5 | 船体双曲率外板热加工自动成型技术 | 169 |
| 5.5.1 | 水火弯板变形机理和主要变形规律 | 170 |
| 5.5.2 | 单因素局部收缩量水火弯板变形规律系列数学模型 | 173 |
| 5.5.3 | 水火弯板加工工艺参数预报方法 | 173 |
| 5.5.4 | 船体双曲率外板的高频感应加热工艺 | 174 |
| 5.6 | 船体双曲度外板的冷冲压成型技术 | 179 |
| 5.6.1 | 概 述 | 179 |
| 5.6.2 | 可重构模具技术(或多点成型技术) | 180 |

| | | |
|-------------|-------------------------------|------------|
| 5.6.3 | 活络方形压头成形技术 | 182 |
| 5.6.4 | 船舶三维数控弯板机及其关键技术 | 183 |
| 5.6.5 | 小 结 | 191 |
| 第6章 | 船体装配中的计算机辅助技术 | 192 |
| 6.1 | 分段装配胎架的数值计算 | 192 |
| 6.1.1 | 基准面倾角的确定 | 192 |
| 6.1.2 | 立柱高度的确定 | 194 |
| 6.1.3 | 肋骨安装倾角的计算 | 196 |
| 6.1.4 | 板厚修正计算 | 196 |
| 6.2 | 分段吊装参数计算 | 197 |
| 6.2.1 | 吊装参数的意义 | 197 |
| 6.2.2 | 算 法 | 198 |
| 6.2.3 | 四根吊绳及两根吊绳平面不平行于中纵剖面时的修正 | 199 |
| 6.3 | 船舶精度控制技术 | 200 |
| 6.3.1 | 数理统计基础 | 201 |
| 6.3.2 | 尺寸链理论 | 202 |
| 6.3.3 | 尺寸链理论在船舶精度控制中的应用 | 210 |
| 6.3.4 | 重量重心的精度控制原理 | 212 |
| 6.3.5 | 补偿量的确定 | 214 |
| 参考文献 | | 216 |

计算机辅助船体建造概述

1.1 计算机辅助制造的概念和构成

1.1.1 计算机辅助制造的应用及发展

自美国在 1945 年制造出世界上第一台电子计算机以来,计算机技术很快在社会各领域得到广泛应用。其中,计算机技术在工业生产中的应用,极大地提高了生产速度和产品质量,而且,随着计算机技术的不断发展,必将带动工业生产中的跨越式发展。

由于电子技术的迅速发展,大量的大规模集成电路和超大规模集成电路技术应用于电子计算机上。因此,出现了小型化、高性能、低价格的微型计算机。而这种高水平的性能价格比为在工业企业中使用计算机技术奠定了重要的基础。工业企业为适应市场竞争,开始研究计算机技术在产品设计、产品制造和生产经营管理等方面的应用,从而产生了计算机辅助设计 CAD(Computer Aided Design)、计算机辅助制造 CAM(Computer Aided Manufacturing)和计算机辅助生产管理 CAPM(Computer Aided Production Management)等多项独立的新技术成果,而且逐渐开发出实现设计和制造一体化的 CAD/CAM 系统,并构想出从产品市场分析、快速报价、快速设计、精细制造到售后服务的一系列过程控制的集成系统,使工业企业的产品制造方式发生了深刻的变革。

1. 计算机在工业企业制造技术中的应用

计算机在工业生产中的应用,首先是从 CAM 开始的。1952 年美国首先研制成功了数控机床,开创了产品加工自动化的崭新道路,成为计算机辅助制造的开端。1958 年,随着机床刀库的发明,出现了能在一台机床上通过自动换刀来实现多种加工的数控加工设备,该设备能够在一次装夹中完成多道加工工序,使数控机床加工由工序分散方式向集中方式发展。由于当时计算机极其昂贵,为了充分利用计算机的功能,在 1966 年研制成功了用一台计算机同时控制数台机床的直接数控系统,但因为其价格昂贵和可靠性差等问题没有解决,所以没有得到广泛推广。直到 1974 年开发了以微型计算机作为控制手段的计算机数控机床后,数控机床才得以迅速发展。

为了改善推广数控机床的条件,摆脱手工编写数控程序的烦琐工作,1952 年开始研制零件数控加工的计算机辅助编程系统,由美国麻省理工学院于 1954 年成功研制出用于零件数控编程的自动编程工具,1958 年完成了具有编译功能的自动编程工具(升级版),使数控技术的发展达到了新的阶段。1965 年美国开始研制图形验证数控加工程序(图形

编程),1967年初步完成并投入使用,使数控加工技术得到进一步完善。

工业机器人的研制成功,为完善地解决加工过程中物料搬运自动化,解决单调、笨重、危险、有害和超过人体能胜任的极限环境下工作等作业自动化,特别是为解决机器生产中最难实现的装配作业自动化创造了条件。

由数控机床和工业机器人等组成的多品种加工自动生产线,被称为柔性制造系统。该系统的研制成功不仅显著地提高了机械加工的生产效率,而且还解决了在离散工业生产中一直试图解决的经常更换品种的中、小批量生产自动化课题。

2. 计算机应用的发展

当人们已经认识到降低产品成本、合理利用资源和缩短产品制造周期等,是与 CAD、CAM、CAPM 等多方面相互密切联系时,计算机综合系统的研究便开始了。20 世纪 70 年代中期,随着 CAD 和 CAM 单项技术的发展,人们首先开始研究了两者的集成,建立了包括工程数据库在内的计算机辅助设计制造一体化(CAD/CAM)系统。CAD/CAM 技术的应用和发展,改变了人们进行产品设计和制造的常规方法,并且使企业的领导者意识到,产品的设计、制造到市场销售的 3 个过程的信息传递是不可分割的组成部分(图 1-1-1),市场把产品的需求信息提供给设计单位,设计部门将产品的各种参数信息传送给制造单位,制造单位中的计划职能部门将产品的参数信息转换成工艺参数信息和有关产品制造的说明,然后将这些信息传送到工厂的加工部门,并据此进行产品的制造。

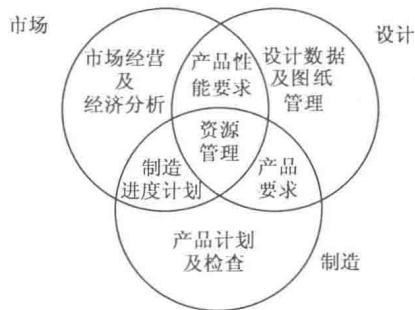


图 1-1-1 市场、设计、制造的相互关系

面对经济发展的新趋势,工业企业必须寻求一种技术和管理高度结合的新生产方式,才能适应快速变化的市场需要。也就是说,一方面要继续发展市场分析、产品设计、产品制造、生产管理和售后服务等各领域的单项计算机应用技术,以实现各单元技术的高度自动化;另一方面的研究则更为重要和紧迫,就是将上述的各单元的自动化技术高度集成为一个综合应用系统,称为计算机集成制造系统 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System),也有学者称为现代集成制造系统 CIMS(Contemporary Integrated Manufacturing System)。该系统将使企业的各种生产要素之间的配置得到更好的优化,从而给企业带来更高的技术上和经济上的效益。

1974 年美国的哈林顿博士对工业企业的计算机应用技术的发展提出了计算机集成制造 CIM(Computer Integrated Manufacturing)的概念,这是一种新的制造思想和技术形态,是未来工厂的模式。这个概念的表述是:

企业的各个环节是不可分割的；

整个制造生产过程实质上是对信息的采集、传递和加工处理的过程。

由此可知，CIM 是企业所有环节自动化技术发展的继续在更高水平上的集成。图 1-1-2 是 CIM 系统的结构示意图。

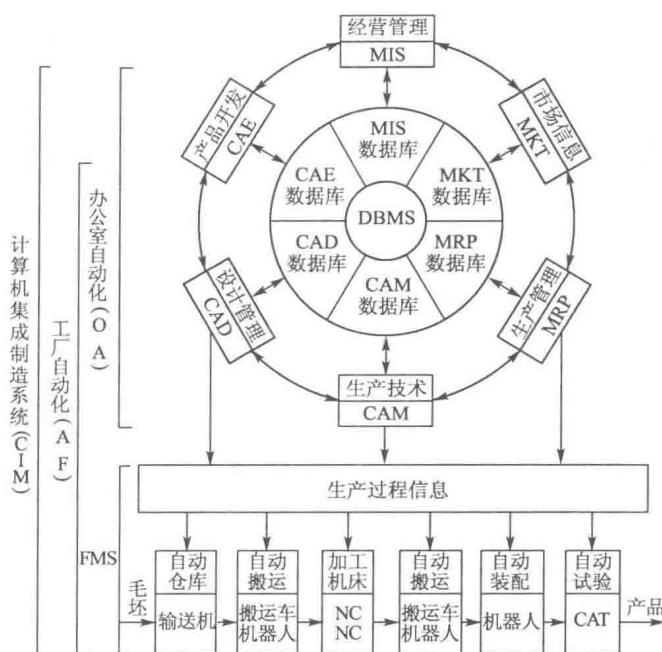


图 1-1-2 CIM 系统的结构示意图

CIM 概念标志着人们对“制造”具有更为深刻的认识。一方面是内涵的理解，即从狭义的观点，“制造”包括工艺规划、库存控制、生产及维护等活动；从广义上看，“制造”应包括对产品需求的预测、产品概念的形成、设计、开发、生产、销售以及售后服务等一系列活动。另一方面是技术层面的理解，以往将“制造”看作物料的转换，就是将原材料加工、装配成产品的过程，而实际上“制造”是一个复杂的信息变换和流通过程，制造过程中所进行的一切活动都是信息处理系统的组成部分。

CIMS 是在 CIM 概念指导下建立的制造系统。它是在自动化技术、信息技术和制造技术的基础上，通过计算机及其软件，将制造过程中各种分散的自动化子系统有机地集成起来，以形成适用于多品种、中小批量生产的、实现总体效益的智能化制造系统。因此，它既是制造过程中的设计、制造和管理等功能的有机集成，又要适应数据采集、通信和处理工作各不相同的工厂、车间、单元、工作站和设备等不同层次工作要求的复杂大系统。

由此可见，CIMS 的主要特征是集成化和智能化。集成化反映了自动化的广度，反映了把系统空间扩展到市场、设计、制造、检验、销售和售后服务等全过程；智能化则体现了自动化的深度，即不仅涉及物质控制的传统体力劳动的自动化，还包括信息流控制的脑力劳动的自动化。

1.1.2 计算机辅助制造技术的概念和构成

CAM 技术是通过分级计算机体系结构,处理产品生产准备的工艺设计和作业计划设计,监控生产过程的加工、装配、物料搬运和产品质量检验与评价等各阶段作业的综合信息处理技术,是能监控生产过程中相互联系的制造作业,并以整体优化来控制其中的每一项作业的计算机应用系统。它是将来的 CIMS 的主要组成部分。

从计算机辅助制造技术的概念可以知道它有如下的特点:

- (1) 整个生产过程受到监控,其中每项工作的人工干预应尽量少;
- (2) 系统是灵活的,既要具有良好的柔性,以适应多品种小批量生产的要求,又要便于系统扩展;
- (3) 系统应便于和 CAD 等系统进行有机的连接,以便建立集成制造系统。

根据 CAM 技术的概念和特点,CAM 技术的基本构成,如图 1-1-3 所示。

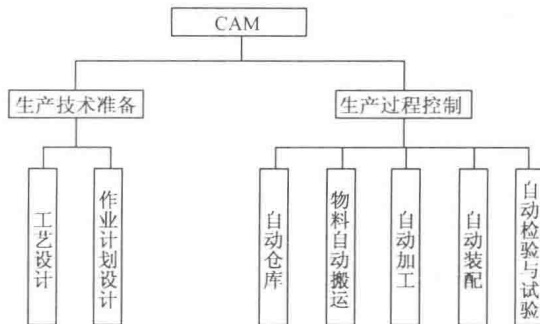


图 1-1-3 CAM 的构成示意图

CAM 的具体组成,由于不同企业的生产条件、技术状况和实现自动化程度等实际情况各不相同,其组成也不尽相同。一般而论,它应由作为硬件的生产设备和作为软件的生产信息两大部分组成。

CAM 技术的生产设备(硬件),一般包括用于信息处理、通信和过程控制的各种计算机系统;NC 机床和 NC 加工中心等加工设备;再现机器人和智能机器人等装配设备;托盘、传送带、无人搬运车和机器人等物料搬运设备;材料、零件和产品的分类、运送、堆垛和存取等自动仓库设备;设备监控和工件检验的监控和检验装置。由上述设备组成 CAM 技术的 6 个主要生产设备组。

CAM 技术的软件,要求具备能使用计算机实行多级信息处理和等功能软件,它包括工厂级、生产过程(加工、装配)级、工作站级和作业级等各种层次的软件。

工厂级软件主要有两个功能,其一,根据产品设计信息和工厂生产条件,进行产品的工艺设计和作业计划设计;其二,根据生产设计信息指示物料进厂和成品出厂的时间,以及根据计划进度与实际进度指示信息的偏差,并从全厂角度决定对哪一道工序进行适当的修正和控制。

生产过程级软件的功能,是严格监视工件是否按作业计划进行加工或装配,并根据作业计划的生产信息,管理和控制物流。



工作站级软件的功能,乃是在加工或装配过程中,对物流和时间进行控制与管理,就是用哪个托盘或无人搬运车,把进入加工工序的毛坯送到哪一台机床加工,加工后送入自动仓库;再根据装配信息决定何时出库,以及在哪一个装配站进行部件组装和最终装配等。

作业级软件的功能,包括加工工序和装配工序两者各自的功能。前者主要是作业,它包含各台设备进行自动加工时,对工、夹具的工具库、成组夹具和可换元件的使用管理,加工数控带管理;监控加工状态(刀具损坏、磨损、寿命);应用机械手等从托盘上取出毛坯装夹在机床上,并在加工结束后卸下工件等。后者主要是数控功能,控制和管理机器人或专用设备,使其在各装配点按装配顺序工作,以实现自动装配。

实质上,CAM技术的软件,乃是通过各级计算机对生产过程的信息进行信息处理,以生成相应的各类控制信息,以控制和管理整个生产系统正常运转的技术手段。

总之,CAM技术不是过去的自动线和自动机械的简单组合,而是顺着材料供应、搬运、加工、装配和工件检验的流向,实行生产作业自动化,并按系统优化、柔性化生产和设备可靠性等原则,将其有机地结合成整体,才能获得研制CAM系统的预期效果。

1.2 计算机辅助船舶建造的特点

自20世纪60年代初研究成功数学放样以来,各造船国家竞相致力于造船CAM系统的研究开发,使造船CAM技术得到了飞速发展,相继进入船体加工、管系加工与布置、船舶轴系校中、船舶电缆布置和螺旋桨加工等广阔领域。而且,各造船国家已将所研制开发的CAM系统逐步集成发展为CAD/CAM系统,即造船集成系统。

船舶产品和造船生产过程具有不同于其他产品和制造业的显著特殊性,因而,造船CAM技术与其他CAM技术既有许多共同点,又具有自己的特点。

1.2.1 船舶产品和造船生产过程的特点

众所周知,船舶是一种极为复杂的大型水上建筑物,它不仅尺度大,而且构成极为复杂,所以船舶产品及其制造过程具有一系列特点。

1. 造船生产方式的特点

船舶乃是水运交通和水域资源开发中的主要生产工具,由于它的一次性投资大、使用寿命长和制造技术复杂,而属于订货型产品。通常,用户根据经营目标、投资能力、产品的使用和性能要求提出产品订单,接到订单的船厂则根据订单中对船舶产品的各项要求,进行船舶设计与制造。因而船舶的营运环境、用户经营目标和投资环境等的多样化,决定了用户对船舶产品需求的多样化,这种多样化需求将使造船生产依然采用多品种、单件或小批量生产的工业生产方式。

2. 船体设计的表示方法特点

船体是由空间曲面组成的大型金属结构物,在产品设计中只能用小比例绘制出三向正投影图。因此,具有如下特点:

(1)空间曲面随船型变化而改变,只能采用型值表方法表示船体曲面;

(2)在表示船型的船体理论型线图上,对一些尺度小的曲面(如首、尾柱)只能作概略表示,更不能精确表示船体外板的零件尺寸;

(3)表示船体曲面的型值,包含有各种不可避免的误差,所以不能直接作为施工资料;

(4)许多船体构件的外形,依然是空间曲面,或者是含有空间曲线构成的空间平面,需要将其展开成平直平面后,才能在平直的原材料上进行号料。

从上述特点可知,船体建造过程必然具有其特有的船体放样工序。

3. 船体建造工程的施工特点

船体建造的生产过程,由于船体零件和半成品(部件、分段等)的尺寸和质量大、外形和结构复杂,从而导致零件成形加工工艺复杂,装配和焊接作业面积大、全位置作业状态、作业环境变化大等特殊性的。而使部分的零件成形加工和辅助作业、绝大部分装配焊接作业和质量检测作业等,仍然停留于手工操作的作业方式。

此外,从船体建造过程的作业环境来看,因其受船舶产品主尺度大、船型和船体结构复杂多样等的影响,船体装配和焊接必然在室外、高空、狭窄空间等环境作业。这些作业环境的复杂特点,同样给实现船体装配和焊接的机械化、自动化增添了巨大的难度。

4. 船舶舾装系统在船舶制造中的施工特点

船舶产品的构成,除了船体和上层建筑之外,为了保证船舶营运、水域资源开发和水上生活等各种需要,根据船舶的不同用途,在船体和上层建筑上还设置有各种设备和设施,例如船舶动力机械系统、电力电气系统、驾驶与导航系统、通信系统、起货系统、锚泊系统、救生系统、舱室装饰与生活设施、各种专用工作机械装置等船舶舾装系统。在这些复杂多样的舾装工程中,除了管系、轴系、木作和部分附属件要由船厂加工制作外,绝大多数是由承造船厂外购后,直接在施工现场进行修整和安装的。也就是说,在船舶产品制造过程中,对船舶舾装工程的施工,主要是现场装配作业。

船舶制造中舾装工程的作业环境特点,在于舾装工程的现场装配作业都是在船体和上层建筑上进行的,作业位置和作业状态是全位置的,具有大量的高空仰视安装作业和狭窄空间的安装作业,即使在船体分段或总段内进行预舾装,也避免不了这类作业条件差的安装作业。同时,还具有在同一空间位置上要进行敷设多种管、线、绝缘和装饰等多专业工种作业的特点。

此外,舾装件的搬运和安装作业环境还受到船体和上层建筑内的工作空间、通道和船舶建造方案等的影响,它影响运输工具和搬运方法的选择,舾装工程安装作业方式选择等。

这些作业环境特点,使舾装工程的安装作业更为复杂,给实现安装作业机械化和自动化增加了巨大困难。

1.2.2 计算机辅助船舶建造的特点

1. 船体放样的数据处理和计算

由于船体建造工程包含特有的船体放样工序,这道工序的工作内容主要有船体型线光顺、结构线放样和船体构件展开等。其主要任务是为后续工序提供准确的施工资料,属



于产品设计资料的“再加工”性质。因此,在造船 CAM 技术中完全有可能和有必要应用计算机技术完成船体放样的各项工作内容,建立包括数学光顺、板缝线和结构线计算、构件展开计算和样板尺寸计算等功能的船体数学放样程序模块,成为造船 CAM 系统的主要组成部分,也是造船 CAM 技术特有的内容。

2. 管系、电缆布置的数据处理和计算

船舶设计所提供的管系、电路布置图,只是从其功能角度出发,而绘制的一种概略布置图,必须在船体型线光顺以后,根据船型和船体结构特点,在光顺后的肋骨型线图上重新进行综合布置,以便正确决定管子尺寸、弯头角度、附属件尺寸、敷设位置与走向、船体结构开孔位置和尺寸等。这些工作内容可借助三维几何造型技术,建立具有上述功能的管系、电缆综合布置程序模块,并成为造船 CAM 系统重要且特有的组成部分。

3. 船体构件的计算机辅助套料

船体构件是由型材构件和板材构件两大类组成的。为了有效地利用原材料,必须对船体构件进行合理的套料,以达到合理利用资源和降低生产成本的目的。因此,对于造船 CAM 技术而言,获得船体构件的展开信息,只是船体构件信息处理工作的第一步,还必须在获得单件展开数据的基础上,进一步进行构件套料的数据处理和计算(构件数据的二次处理),然后才能以套料零件数据为基础,进行船体构件数控切割的自动编程,为数控切割机床提供加工控制信息。

4. 船体构件加工特点的影响

船体中数以万计的船体构件,其形状和尺寸各不相同,并随船舶产品的变化而变化。船舶制造属于多品种、单件或小批量生产的生产方式,所以,对船体加工机床的自动化,只宜选择柔性自动化方式,就是数控加工方式。迄今为止,对构件边缘加工和型材构件成形加工已实现了数控加工。至于板材构件的成形加工,由于其形状复杂和加工过程中板材变形复杂的影响,冷压加工则有待于研制出保证加工质量的通用模具和弹塑性加工的数学模型,才有可能实现数控加工;水火加工则有待于研制成功水火加工的板材变形计算和焰道尺寸与分布等的计算模型、作业机械的过程控制模型等,才有可能实现数控加工。

再者,船体构件乃是形状复杂的大尺寸零件,它在加工过程中的搬运、进给、定位和装卸等辅助作业的操作非常复杂,因此,应在研制开发满足各种作业特点的大型辅助作业机械的基础上,研制数控装置,或者研制智能机器人和计算机监控装置,以实现辅助作业自动化。

5. 船体装焊工艺特点的影响

船体装配和焊接作业的自动化,受到工件特点、作业方式和作业环境等的制约,实现这部分作业自动化的难度是相当大的。例如,即使在市场上已出现了通用焊接机器人,但它仍不能适应作业环境复杂、多样的船体焊接作业的要求。所以,国外造船界认为,实现船体装配焊接作业的计算机监控,一方面要研究开发新的装配焊接技术方法,另一方面要研制开发满足船体装焊技术要求,适应其作业环境特点的智能机器人。

6. 舾装系统安装工艺特点的影响

舾装系统安装作业的作业环境比船体装焊作业环境更复杂,对实现安装作业计算机监控的制约更加苛刻。可以认为,研究开发新的适于安装作业自动化的舾装安装技术,以

及担负舾装安装作业的智能机器人等的难度将更大,任务也更艰巨。

从上述可知,造船 CAM 技术的前三个特点,是在进入数控加工之前需要进行的大量复杂的数据处理和计算工作,而且是属于生产工艺准备阶段的工作内容,它们与造船生产设计(CAPP,Computer Aided Process Planning)相互联系、相互结合、相互传递所需的信息。它们集合在一起,具有极为复杂和大量的计算和数据处理工作量。后三个特点是形成高度自动化和高柔性化的造船 CAM 系统的关键,还有许多高难度的技术问题有待研究和开发,它们代表了新一代的造船生产方式。

从造船 CAM 技术的特点可知,造船 CAM 技术主要依靠计算机进行以下几方面的工作。

- (1)计算和统计工作;
- (2)取代某些工艺过程(船体放样、套料和管系、电缆综合布置等);
- (3)工艺过程控制(机床和辅助作业机械的数控);
- (4)信息存贮、传递和信息处理;
- (5)生产过程的监测。

1.3 造船计算机集成制造系统概述

工业企业对产品制造中各单项技术的计算机应用,虽然获得了显著的效益,但对计算机应用技术和产品生产而言,仍不能实现整体优化的综合效益。而且产品制造还需适应动态多变的市场竞争和未来工业生产方式变革等要求,故提出了新一代生产模式——计算机集成制造系统(CIMS),这是科学技术发展和市场需求变化共同推动的结果。

1.3.1 造船 CIMS 的概念和构成

造船 CIMS 是根据船舶产品及其制造过程的特点,对 CIMS 的具体应用。因此,造船 CIMS 是以自动化技术、信息技术和造船技术为基础,通过计算机及其软件,将造船订货、船型试验、船舶设计、船舶建造、造船生产管理和交船后服务等造船企业全部生产活动所需的各种分散的自动化系统有机地集成起来,而形成的总体高效益、高柔性的智能制造系统。这里所指的集成,主要是以信息集成为特征的技术集成,同时也包括物、设备和人的集成。

根据造船 CIMS 的概念,造船 CIMS 是由多个子系统构成的复杂大系统,如图 1-3-1 所示。

它主要有经营计划管理系统、计算机辅助工程系统 CAE(Computer Aided Engineering)、柔性制造系统(FMS)等子系统,以及造船工程数据库。

1. 经营计划管理系统

经营计划管理系统是在企业经营活动中根据船东的需求,及时提出适当的项目、规格及设计图,并通过计算机图形显示装置与船东共同研讨和改进船型设计,以完成从合同内容到订货作业的计算机应用系统。

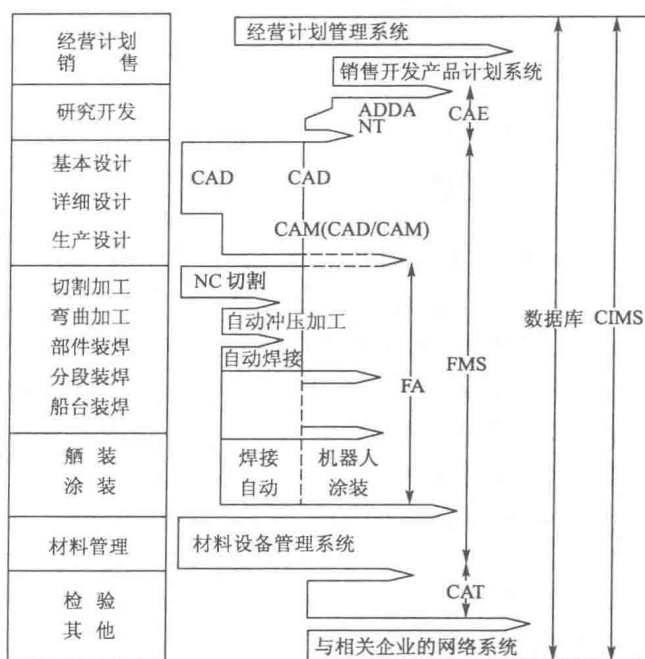


图 1-3-1 造船 CIMS 的构成

2. 计算机辅助工程系统 (CAE)

CAE 主要由数学水池、新结构设计法和设计专家系统等构成。它可对产品试验与开发、基本设计和详细设计等内容进行分析评价,并能给产品设计系统确定和传递产品性能、结构与配置等所需信息的功能设计系统。

(1)数学水池。它是通过计算机对实船周围流场状态进行模拟,对船体周围流场和船舶流体力学的特性进行数值计算与评价,对船舶适航性能和船舶操纵性能进行计算与评价的系统。由于数学水池能够模拟实船周围的流场状态,正确地评价实船性能,从而大幅度促进船型改良与开发,以实现船型的优化。

(2)新结构设计法。它是通过计算机根据气象卫星获得的海象/气象信息和理论计算,设定船舶航行中的实际海况;应用有限元法对全船进行结构强度设计与强度计算;再根据强度计算结果作出最终强度评价,并依据优化设计原则给出结构与配置等信息;然后运用船舶结构安全信息系统和操船支持系统监控和反馈船舶在航行中的结构强度,以保障船舶营运的安全。

3. 柔性制造系统 (FMS)

柔性制造系统 FMS 是一个产品设计 (CAD)、工程设计与施工等局部集成起来的制造系统,它由产品设计系统、工程设计 (生产设计、数学放样、作业计划设计等) 系统、自动化机器 (如数控工作机械、机器人)、监控系统、资源管理系统等多个子系统构成。这种系统既实现了设计与建造的一体化,又在船舶设计与建造过程中使船、机、电融合为一体,从而使各种生产要素之间的配置得到更好的优化,达到最大限度地减少或消除生产中各种资源的浪费,以获得更好的整体效益。