



船舶与海洋工程

国家十二·五重点图书
船舶与海洋工程专业规划教材

计算机辅助船体制造

李培勇 王呈方 主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

计算机辅助船体制造

李培勇 王呈方 主编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书着重介绍了计算机辅助船体制造方面的基本原理、方法和过程。全书共分9章,主要包括:计算机辅助船舶制造概论、CAD/CAM系统中的工程数据管理、计算机图形处理技术基础、船体造型的数值表示、船体型线光顺的数值方法、船体构件展开的数学方法、船体加工的数值表示、计算机辅助工程分析和造船计算机集成制造系统概述等。

本书可作为高等学校船舶与海洋工程专业的教材,也可供从事船舶与海洋工程的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助船体制造/李培勇,王呈方主编. —上海:
上海交通大学出版社,2011
ISBN 978-7-313-07240-5

I. 计... II. ①李... ②王... III. 船体—造
船—计算机辅助制造—高等学校—教材 IV. U671-39
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 070076 号

计算机辅助船体制造

李培勇 王呈方 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟市文化印刷有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:12.25 字数:296 千字

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

印数:1~3 030

ISBN 978-7-313-07240-5/U 定价:50.00 元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话:021-52219025

前 言

近年来,随着科学技术的进步,新船型和新的造船技术不断发展,船舶制造业中计算机的应用发生了很大的变化,计算机已经在船舶制造业中的所有领域发挥着重要作用。本书的编写,在内容上尽可能反映现代船舶制造业中的新思想、新技术、新方法和新资料。本书的主要内容包括:计算机辅助船舶制造概论、CAD/CAM 系统中的工程数据管理、计算机图形处理技术基础、船体造型的数值表示、船体型线光顺的数值方法、船体构件展开的数学方法、船体加工的数值表示、计算机辅助工程分析和造船计算机集成制造系统概述等。

本书所指的制造技术是一种广义制造技术,是在机械制造技术的基础上发展起来的。长期以来,由于设计和工艺的分家,制造被定位于制造工艺,但这是一种狭义制造的概念。随着社会发展和科技进步,需要综合、融合和复合多种技术去研究和解决制造问题,特别是当集成制造技术的问世后,提出了广义制造的概念,亦称为“大制造”,它体现了制造概念的扩展。本书所述的计算机辅助制造是指广义制造,可称为广义计算机辅助制造,它包括了计算机辅助设计和计算机辅助制造两大部分。但是,由于篇幅限制,本书仍侧重于计算机辅助船体制造工艺方面的内容,如:数学放样、构件展开、船体构件加工的数值表示等。

计算机辅助船舶制造,需要综合运用计算机技术、数学原理、结构力学和船舶制造技术等方面的知识。因此,在本书的编写中,着重阐述了分析问题和解决问题的一些基本思路和方法。也希望通过本书的学习,能帮助读者提高综合分析问题的能力,掌握解决工程问题的基本方法。

本书由李培勇、王呈方主编。王呈方参与策划、制定编写大纲,并指导全书的编写;向祖权编写第 2 章;周永清编写第 3 章;茅云生编写第 7 章;胡勇编写第 9 章;李培勇主持制定编写大纲,编写其余各章,并负责全书的统稿工作。研究生吴晓东协助绘制了大部分插图。

本书参考了王勇毅教授主编的《计算机辅助船体建造》。编写过程中,王勇毅教授对本书的编写提出了很好的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本书得到了武汉理工大学交通学院出版基金的资助。

由于编者水平有限,恳切希望读者批评指正。

编者

2010 年 11 月

目 录

第 1 章 计算机辅助船舶制造概论	1
1.1 CAD/CAM 技术在工业中的应用概况	1
1.2 CAD/CAM 系统	2
1.3 计算机辅助制造概述	5
1.4 造船 CAM 技术的特点	9
1.5 计算机辅助船舶制造技术的发展概况	11
1.6 主要造船集成系统简介	14
第 2 章 CAD/CAM 系统中的工程数据管理	22
2.1 数据结构的概念	22
2.2 工程数据的计算机处理	24
2.3 工程数据管理	29
2.4 工程数据库	36
第 3 章 计算机图形处理技术基础	41
3.1 图形处理的数学基础	41
3.2 图形变换	43
3.3 窗口与视区的坐标变换	54
3.4 图形裁剪	55
3.5 消隐	60
第 4 章 船体造型的数值表示	63
4.1 基本概念	63
4.2 插值三次样条函数	66
4.3 参数样条曲线	73
4.4 B 样条曲线	74
第 5 章 船体型线光顺的数值方法	85
5.1 概述	85
5.2 船体型线光顺的基本概念	85

5.3	曲线光顺处理的基本方法	87
5.4	曲线的光顺性检查	92
5.5	曲线的光顺方法	93
5.6	船体型线三向光顺方法	96
第6章	船体构件展开的数学方法	100
6.1	船体构件展开计算的数学基础	100
6.2	测地线展开船体外板的数值表示	106
6.3	短程线法展开船体外板的数值表示	113
第7章	船体加工的数值表示	122
7.1	数控加工和图形处理	122
7.2	数控切割的数值计算	127
7.3	型材数控冷弯的数值计算	135
第8章	计算机辅助工程分析	145
8.1	工程分析概述	145
8.2	结构有限元分析概述	146
8.3	实例	154
8.4	优化设计	163
8.5	计算机仿真	171
第9章	造船计算机集成制造系统概述	176
9.1	计算机集成制造的基本概念	176
9.2	计算机集成制造系统的概念	176
9.3	现代集成制造系统的基本概念	178
9.4	船舶集成制造系统概述	179
参考文献		187

第 1 章 计算机辅助船舶制造概论

21 世纪的制造技术是一种广义制造技术,是在机械制造技术的基础上发展起来的。长期以来,由于设计和工艺的分家,制造被定位于制造工艺,这是一种狭义制造的概念;随着社会发展和科技进步,需要综合、融合和复合多种技术去研究和解决制造问题,特别是集成制造技术的问世,提出了广义制造的概念(亦称为“大制造”),它体现了制造概念的扩展。本书所述的计算机辅助制造是指广义制造,可称为广义计算机辅助制造,它包括了计算机辅助设计和计算机辅助制造两大部分。

计算机辅助制造是先进制造技术的重要组成部分,是提高制造水平的重要举措。

1.1 CAD/CAM 技术在工业中的应用概况

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)和计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM),是指以计算机为主要技术手段来生成和运用各种数字信息和图形信息,并进行产品设计和制造。它是人类智慧与计算机系统硬件和软件功能的巧妙结合。它可以将人脑所能承担的设计和制造任务当做日常工作处理,其处理的复杂程度,将随着一代又一代新的计算机硬件和软件的出现而不断提高。

CAD/CAM 技术是 20 世纪中后期迅速发展起来的一门新兴的综合型计算机应用系统技术。在 20 世纪 40 年代出现了第一台计算机,50 年代出现了第一台数控机床,60 年代出现了交互式图像显示设备、定义自由曲面的方法和力学计算的有限元法,70 年代出现了工作站(Workstation)和造型技术(Wireframe Modeling、Solid Modeling、Surface Modeling)、数据库技术,80 年代出现了智能机器人技术和专家系统,CAD/CAM 技术历经了形成、发展、提高和集成各个阶段。市场环境(企业竞争使产品市场寿命短)、设计环境(开发新产品的成功率高且设计周期短)、制造环境的变化是 CAD/CAM 技术发展的动力。今天 CAD/CAM 技术已渗透到工程技术和人类生活的几乎所有领域,并日益向纵深发展。迄今为止,在计算机技术的应用领域中,CAD/CAM 技术的覆盖率可达 60%以上。

CAD/CAM 技术主要服务于机械、电子、宇航、建筑、轻纺等产品的总体设计、外形设计、结构设计、优化设计、运动机构的模拟设计、有限元分析的前后置处理、物体质量特性计算、工艺过程设计、数控加工、检验测量等环节。它涉及计算机科学、计算数学、计算几何、计算机图形学、数据结构、数据库、数控技术、软件工程、仿真技术、机器人学、人工智能等学科领域。

CAD/CAM 技术具有高智力、知识密集、更新速度快、综合性强、效益高、初始投入大等特点。CAD/CAM 技术的发展,不仅深刻地改变了人们能够借以设计和制造各种产品的常规方式,而且影响到企业的管理和商业对策。因此,任何一个企业和研究机构要想保持设计和制造中的竞争能力,就必须努力研究、开发和使用 CAD/CAM 技术。

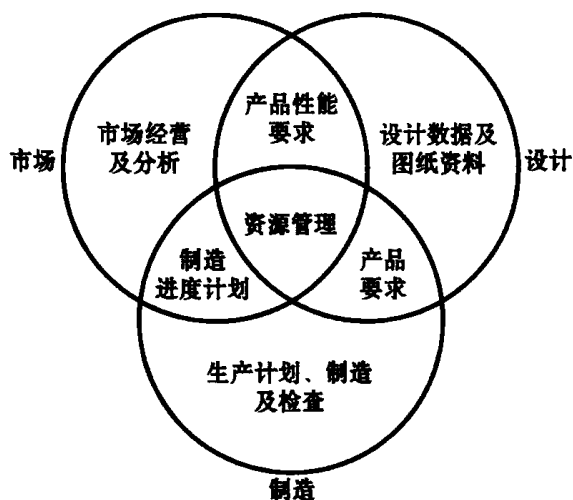


图 1-1 设计、制造和市场的相互关系

设计、制造和市场被看作是从设计思想形成到交付产品的生产过程中三个不可分割的组成部分,如图 1-1 所示。市场把产品的需求信息提供给设计部门,设计部门将产品的定义数据和各种参数传送到制造部门,制造部门中的计划职能单位将产品的定义数据(如几何数据、加工信息等)转换成工艺定义数据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现场,工厂以此进行生产。以计算机为基础的计划和管理工作,直接决定进度计划并监视制造过程和控制产品质量。

1.2 CAD/CAM 系统

1.2.1 CAD/CAM 系统的基本概念

物质世界的各种发明创造,都是为了满足人类的需要而产生的。在各种情况下,总是先有某种需要,而后产生一种怎样才能满足那种需要的思想,最后经过努力将其变为现实。人们从需要到产生思想,再把这种思想变成实物,一般称其为设计和制造过程。这一过程包括市场需求分析、产品性能要求的确定、总体设计模型的建立、模型的综合分析、结构设计、方案优选、评估决策、工程描述、工艺规程设计、加工、装配和检测等环节,或者概括地说,产品设计和制造是指从市场需求分析开始,直到形成产品时所必需的一系列有序活动。

从计算机科学的角度看,设计和制造过程是一个信息处理、交换、流通和管理的过程。因此,人们能够对产品从构思到投放市场的整个过程进行分析和控制,即对设计和制造过程中信息的产生、转换、存储、流通、管理进行分析和控制。CAD/CAM 系统实质上是一个有关产品设计和制造的信息处理系统。

产品的类型虽然成千上万,但其设计和制造的时间顺序模式却大同小异。任何设计制造过程,都是从对一种需求的识别开始。认识一种需求本身就是一个创造过程。对需求进行了认真的分析后,才能进入创造性的工程设计阶段。是重新设计还是改型设计,都应从方案(总体)设计入手,使设计产品模型化,然后进行结构设计。一旦结构设计和性能分析等工作结束,就要与所要求的设计性能进行比较并得到最后的经过优选的各种参数,即可进入零部件的设计和制造。

为了提高设计师或一个群体解决设计、制造问题的创造性和工作效率,已经产生了多种辅助手段。CAD/CAM 技术就是一种被人们广泛采用的主要辅助手段,它的出现是工业革命以来工程技术领域中发生的最重大的变化之一。

CAD/CAM 系统是围绕着产品的设计与制造两大部分独立发展起来的。CAD 从方程求解计算和绘图入手,发展到现在已包含以下内容:建立数学模型、工程分析、产品设计(包括方案设计、总体设计、零部件设计)、动态模拟、自动绘图等;CAM 从手工编程、自动编程,到现在

的诸项内容:工艺装备设计、数字化(图形化)控制、工艺过程计划(Computer Aided Process Planning, CAPP)、机器人、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、工厂管理以及一些企业正在发展的 CIMS 项目。

CAPP 已被作为一个专门的子系统,而工时定额的计算、生产计划的制订、资源需求计划的制订则划分给制造资源计划(Manufacturing Resource Planning, MRP)/企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)系统来完成。

纵观 CAD/CAM 技术发展的历史,国内外的情况都是先由数控机床的出现,进而发展了 CAM,由于 CAM 的要求,促进了 CAD 的发展。过去复杂外形零件生产方面的致命弱点是模拟量的信息传递, CAM 中自动编程的出现,迫切要求用数学方法来定义零件。此外, CAD 系统的出现彻底改变了设计工作过程的流程,也改变了与生产相关的处理。1963 年图形显示器的出现使原来的 CAD 工作发生了根本的变革,通过数学方法建立产品的统一、完整的三维几何模型,信息流直接从 CAD 流到 CAM,即 CAD 的输出正好是 CAM 的输入,达到了真正的 CAD 与 CAM 的结合。

1.2.2 CAD/CAM 系统应具备的功能

1973 年,当 CAD/CAM 还处于初期实用阶段时,国际信息处理联合会 IFIP(International Federation of Information Processing)曾经给 CAD 下了一个广义的、并未得到公认的定义: CAD 是将人和计算机混编在解题专业组中的一种技术,从而将人和计算机的最优特性结合起来。人具有逻辑推理、判断、图形识别、学习、联想、思维、表达和自适应的特点和能力,计算机则以运算速度快、存储量大、精确度高、不疲劳、不忘记、不易出错以及能迅速显示数据、曲线和图形见长。所谓“最优特性结合”,即通过人机交互技术,让人和计算机进行信息交流和分析,互相取长补短,使人和计算机的最优特性都得到充分发挥,从而可以获得最佳的综合效果。

一个比较完善的 CAD/CAM 系统,是由产品设计制造的数值计算和数据处理程序包、图形信息交换(输入、输出)和处理的交互式图形显示程序包、存储和管理设计制造信息的工程数据库等三大部分构成的。这种系统的主要功能包括:

1. 雕塑曲面造型(Surface Modeling)功能

系统应具有根据给定的离散数据和工程问题的边界条件,来定义、生成、控制和处理过渡曲面与非矩形域曲面的拼合能力,提供汽车、飞机、船舶设计和制造,以及某些用自由曲面构造产品几何模型所需要的曲面造型技术。

2. 实体造型(Solid Modeling)功能

系统应具有定义和生成体素的能力,以及用几何体素构造法(Constructive Solid Geometry, CSG)或边界表示法(Boundary Representation, B-rep)构造实体模型的能力,并且能提供机械产品总体、部件、零件以及用规则几何形体构造产品几何模型所需要的实体造型技术。

3. 物体质量特性计算功能

系统应具有根据产品几何模型计算相应物体的体积、表面积、质量、密度、重心、导线长度,以及轴的转动惯量和回转半径等几何特性的能力,为系统对产品进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数和数据。

4. 三维运动机构的分析和仿真功能

系统应具有研究机构运动学特征的能力,即具有对运动机构(如凸轮连杆机构)的运动参数、运动轨迹、干涉校核进行研究的能力,以及对运动系统的仿真等进行研究的能力,从而为设计师设计运动机构时,提供直观的、可以仿真的交互式设计技术。

5. 二、三维图形的转换功能

众所周知,设计过程是一个反复修改、逐步逼近的过程。产品总体设计需要三维图形,而结构设计主要用二维图形。因此,从图形系统角度分析,设计过程也是一个三维图形变二维图形,二维图形变三维图形的变换过程,所以,CAD/CAM 系统应具有二、三维图形的转换功能。

6. 三维几何模型的显示处理功能

系统应具有动态显示图形、消除隐藏线(面)、彩色浓淡处理的能力,以便使设计师通过视觉直接观察、构思和检验产品模型,解决三维几何模型设计的复杂空间布局问题。

7. 有限元法(Finite Element Method, FEM)网格自动生成的功能

系统应具有用有限元法对产品结构的静、动态特性、强度、振动、热变形、磁场、流场等进行分析的能力,以及自动生成有限元网格的能力,以便为用户精确研究产品结构受力,以及用深浅不同的颜色描述应力或磁力分布提供分析技术。有限元网格,特别是复杂的三维模型有限元网格的自动划分能力是十分重要的。

8. 优化设计功能

系统最低限度应具有用参数优化法进行方案优选的功能。这是因为,优化设计是保证现代产品设计具有高速度、高质量、良好的市场销售的主要技术手段之一。

9. 数控加工的功能

系统应具有三、四、五坐标机床加工产品零件的能力,并能在图形显示终端上识别、校核刀具轨迹和刀具干涉,以及对加工过程的模态进行仿真。

10. 信息处理和信息管理功能

系统应具有统一处理和管理有关产品设计、制造以及生产计划等全部信息(包括相应软件)的能力。或者说,应该建立一个与系统规模匹配的统一的数据库,以实现设计、制造、管理的信息共享,并达到自动检索、快速存取和不同系统间的交换和传输的目的。

1.2.3 CAD/CAM 系统的组成

系统的组成应根据 CAD/CAM 系统的目的和功能来确定,在某些工程领域(如航空、航天、汽车、船舶等),设计的技术条件是需要严格定义的,而其他领域的设计(如农业机械、建筑工程),则可以有较大的选择自由。尽管各行各业之间的产品设计、生产存在着很多差异,但它们应用的 CAD/CAM 系统都有共同点。一般一套完整的 CAD/CAM 系统包括硬件系统和软件系统,只有当硬件与软件的结合与匹配,才能充分发挥 CAD/CAM 系统的高效、优质的特点。CAD/CAM 系统基本组成如图 1-2 所示。

1. CAD/CAM 硬件系统

CAD/CAM 硬件系统包括计算机及其选用的外部设备,其运行的典型硬件有以下几个组

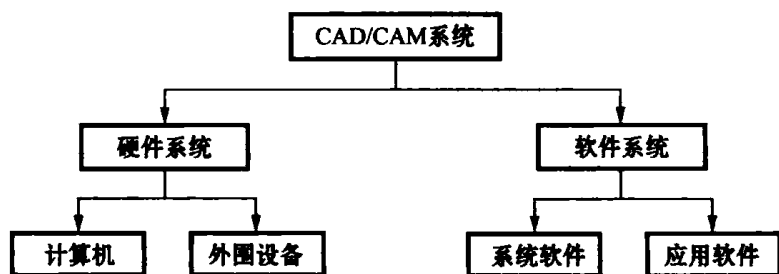


图 1-2 CAD/CAM 系统基本组成

成部分：

(1) 中央处理机(CPU)，由运算器与控制器组成。

(2) 数控存储器，如磁存储器、光存储器等。CPU 和存储器通常组装在一个机壳内，合称为主机。

(3) 输入/输出设备，如键盘、数字化仪、鼠标、图形显示器、打印机、绘图机等。

2. CAD/CAM 软件系统

计算机的软件系统是将解决问题的思想方法和过程用程序进行描述。软件按功能分为系统软件和应用软件两大类。CAD/CAM 软件系统属于应用软件。系统软件用于实现计算机系统的管理、控制、调度、监视和服务等功能，其目的是与计算机硬件直接联系，为用户提供方便，扩充用户的计算机功能，合理调整计算机硬件资源和提高计算机的使用效率。系统软件是应用软件的开发环境。

一般系统软件包括有：

- (1) 操作系统(OS)。
- (2) 程序设计语言处理系统。
- (3) 数据库管理系统(DBMS)。
- (4) 服务性程序。
- (5) 计算机网络软件。

应用软件是用户为解决某种应用问题而编制的一些程序，如有限元分析计算程序、优化程序、自动控制程序、数据处理程序以及 CAD/CAM 软件等。

1.3 计算机辅助制造概述

1.3.1 计算机辅助制造的概念

1. 广义计算机辅助制造的概念

按照广义制造的概念，计算机辅助制造包括计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助工艺过程设计(Computer Aided Process Planning, CAPP)和计算机辅助加工(Computer Aided Machining, CAM)3 个方面的内容。

2. 狭义计算机辅助制造的概念

从通常的概念来说，计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)是指应用计

算机来进行产品制造的统称,即利用计算机辅助完成从原材料到产品的全部制造过程,在制造过程中的某些环节应用计算机,包括直接制造过程和间接制造过程,其主要内容有计算机辅助工艺过程设计和计算机辅助加工两部分。

当前,计算机辅助加工大多是指机械加工,而且是数控加工(Numerical Control Machining, NCM),它的输入信息是零件的工艺路线和工序内容,输出信息是刀具加工时的运动轨迹(刀位文件)和数控程序,并在今后逐步扩展到非机械加工。

1.3.2 计算机辅助制造系统

1. 计算机辅助制造系统的概念

从广义计算机辅助制造的概念考虑,计算机辅助制造系统包括工程设计与分析、生产管理与控制、财务会计与供销等诸方面,是通过计算机分级结构控制和管理制造过程的多方面工作,它的目标在于开发一个集成的信息网络来监测一个广阔的相互关联的制造作业范围,并根据一个总体的管理策略控制每项作业。

从自动化的角度来看,数控机床加工是一个工序自动化的加工过程,加工中心实现零件部分或全部机械加工过程自动化,计算机直接控制和柔性制造系统是完成一族零件或不同族零件的一段(局部)自动化制造过程,而计算机辅助制造是指计算机全面进入整个制造过程,它涉及一个车间或整个工厂。

2. 计算机辅助制造系统的结构

一个大规模的计算机辅助制造系统是一个计算机分级结构的网络,由两级或三级计算机组成,中央计算机控制全局,提供经过处理的信息;主计算机管理某一方面的工作,并对下属的计算机工作站或微型计算机发布指令和进行监控;计算机工作站或微型计算机承担单一的工艺过程控制或管理工作。

如图 1-3 所示为计算机辅助制造系统的分级结构。可以看出,其功能是全面的、广泛的,涉及整个制造领域。

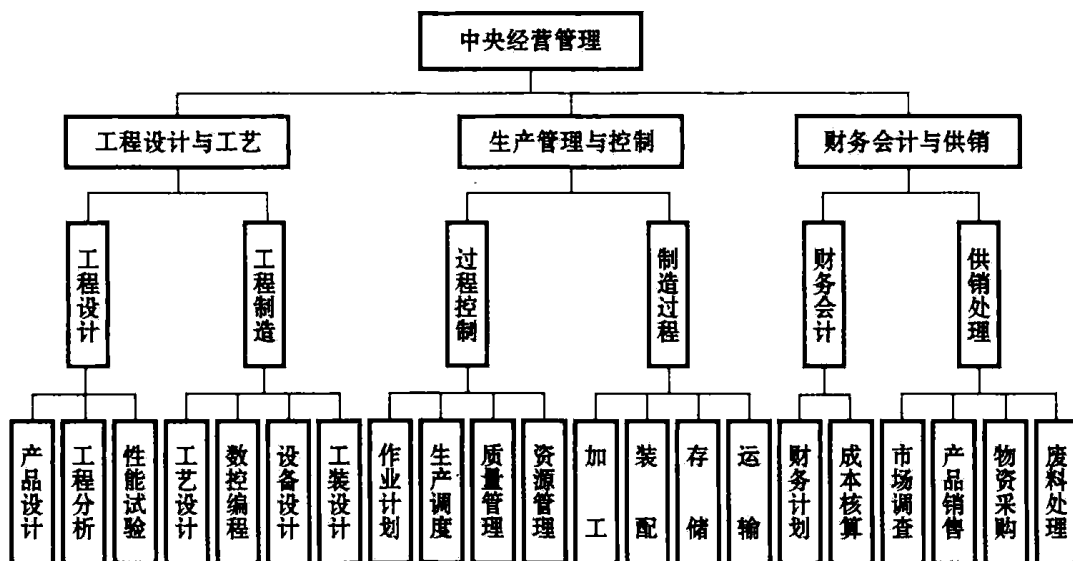


图 1-3 计算机辅助制造系统的分级结构

计算机辅助制造系统的组成可以分为硬件和软件两方面。硬件方面有数控机床、加工中心、输送装置、装卸装置、存储装置、检测装置、计算机等；软件方面有数据库、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助数控程序编制、计算机辅助工装设计、计算机辅助作业计划编制与调度、计算机辅助质量控制等。

1.3.3 计算机辅助制造技术的重要性

计算机辅助制造技术是制造技术的重要组成部分，而制造技术是当代科学技术发展最为活跃的领域，是产品革新、生产发展、经济竞争的重要手段，各工业化国家纷纷把先进制造技术列为国家的高新关键技术和优先发展项目，并给予了极大的重视和关注。计算机辅助制造技术的重要性主要体现在以下几个方面。

1. 提高了制造技术的水平

在机械制造业，特别是造船、航空等部门，其生产特点是加工批量小、改型频繁、零件复杂且精度要求高，并且单件、小批量生产的零件占机械加工总量的80%以上。

计算机辅助制造是利用计算机来完成制造以及与制造系统有关的工作，能够通过直接或者间接地与工厂资源接口的计算机来完成制造系统的计划、操作工序控制和管理工作，是一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的生产模式，适合于多品种小批量自动化生产。因此，计算机辅助制造技术的发展对于造船、航空等行业制造技术水平的提高具有重要意义。

2. 提高了企业对市场需求的响应能力

随着市场竞争的加剧，竞争的焦点变为以最短的时间开发出高质量、低成本的产品投放市场。强有力的计算机辅助制造技术可以快速处理相关数据，缩短产品的研制周期，提高产品质量，满足用户对产品多元化和个性化的需求，使企业及其产品具有较强的竞争力和生命力。

3. 形成了集成制造体系

从计算机辅助制造的广义内容来看，计算机辅助制造技术应包括计算机辅助设计、计算机辅助加工、计算机辅助装配与拆卸、计算机辅助夹具设计、计算机辅助刀具设计、计算机辅助模具设计、计算机辅助质量控制与管理、计算机辅助检测、计算机辅助工艺管理等。计算机辅助制造技术的发展使产品全生命周期的各个阶段得以集成起来，形成一个综合体，包括产品的市场需求调研、开发研制、设计、生产制造、销售维修、报废处理回收等，提高了产品开发的成功率、质量、生产率，节约了资源，降低了成本。对于复杂产品，如飞机、火箭、宇宙飞船等，还可以形成多学科集成制造体系。

4. 有利于制造技术的总结

制造工作是十分复杂的，许多丰富的实际经验是十分宝贵的，过去只能以纸质形式进行整理、总结并保存，而计算机辅助制造技术可以将多年来广大工程技术人员和工人的经验全面、形象、方便地进行记录、总结和保存，形成数学模型、算法等资料，构建庞大的数据库文件，方便在新的制造工作中运用。

1.3.4 计算机辅助制造技术的特点

先进制造技术即现代制造技术，前者强调先进，后者强调现代，它的特点主要表现在传统

制造技术与信息技术的结合方面,具体来说主要是计算机技术的应用。

计算机辅助制造技术的特点有以下几个方面。

1. 计算机辅助制造技术是一个系统工程

制造科学是由机械、计算机、信息、材料、自动化等学科有机结合而发展起来的一门跨学科的综合科学。机械制造系统是一种离散的系统,是由系统论、信息论和控制论形成的系统科学和方法论,它从系统各组成部分之间的相互联系、相互作用、相互制约的关系来分析对象,用系统论的观点来分析和研究制造过程。计算机辅助制造系统是由物质流、能量流和信息流 3 个基本要素构成的,而信息流的引入是形成系统最关键的要素。计算机技术、数控技术、控制工程技术等的发展促进了计算机辅助制造系统的形成和发展。

2. 工艺技术是计算机辅助制造技术的核心

工艺是制造技术的灵魂、核心和关键。产品从设计变为现实是必须通过加工才能完成的,工艺是设计和制造的桥梁,设计的可行性往往会受到工艺的制约,即受到制造可行性的限制,如果在加工精度、表面粗糙度、尺寸等方面不能满足设计要求,就会出现工艺手段主宰产品的局面,工艺(包括检测)往往会成为“瓶颈”,因此,工艺方法和水平是十分重要的。不是所有设计的产品都能加工出来,也不是所有设计的产品通过加工都能达到预定的技术性能要求。工艺是生产中最活跃的、最革命的因素,同样的设计可以通过不同的工艺方法来实现,工艺不同,所用的加工设备、工艺装备就会不同,其质量和生产率也会有差别。通常,有了某种工艺方法才有相应的工具和设备出现,反过来,这些工具和设备的发展又提高了该工艺方法的技术性能和水平,扩大了其应用范围。

3. 设计与工艺一体化

从广义制造技术的含义来看,其主要内容可分为设计和工艺两大部分。大生产的出现,产生了分工,设计和工艺分开了,甚至分属于不同部门,造成了工艺与设计脱离、工艺从属于设计等现象,严重影响了制造技术的发展。同此,设计与工艺必须密切结合,要以工艺为突破口,形成设计与工艺的一体化。广义计算机辅助制造技术包含了全部制造过程,其中包括产品设计、工艺设计、加工制造等阶段,将设计和工艺结合在一起。计算机技术的介入使信息能够很方便地集成,从而为设计与工艺的结合创造了良好条件,而并行工程(Concurrent Engineering, CE)更是强调了设计和工艺的结合。

4. 产品生命周期的全过程

现代制造系统是一个从产品概念形成开始到产品制造、使用直至报废处理的集成活动和系统,是一个功能和信息系统,它包括了产品生命周期的全过程,其中有市场需求调研、设计开发、制造生产、销售经营、使用维修、报废处理。在产品的设计中,不仅要进行结构设计、零件设计、装配设计,而且特别强调拆卸设计,使产品报废处理时能够进行材料利用的再循环,节约材料和能源,保护环境。因此,在计算机辅助制造技术中,从产品制造的角度来分析,包含了产品技术、生产技术、拆卸技术和再循环技术 4 个方面。

5. 人、组织、技术三结合

制造技术经过数百年漫长的发展,但在人的作用和机器功能、技术支撑和经营管理、技术推动和市场驱动等方面的关系一直未能理清。近几十年来,制造技术有了长足的进步和急速

的发展,提出了人机协同的观点,强调了即使在高度自动化的今天,人的创造性和作用的永恒性;在制造科学技术的发展中,提出了由技术支撑转变为人、组织、技术的集成,强调了经营管理、战略决策的作用;在制造工业战略决策中,提出了市场驱动、需求牵引的概念,强调用户是核心,用户的需求是企业成功的关键,并且强调快速响应市场需求的重要性。在计算机辅助制造中计算机只能起辅助作用,不能代替人的全部劳动。

1.4 造船 CAM 技术的特点

自 20 世纪 60 年代初开展数学放样的研究和应用以来,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,即船舶制造集成系统。

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. 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如下一系列特点。

1) 造船生产方式的特点

船舶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,所以属于订货型产品。通常,用户根据经营目标、投资能力、产品的使用 and 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,在产品设计中一般用三面正投影图方式表示。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(如艏、艉柱)只能作概略表示,而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,因为是空间曲面,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)的尺寸大、质量重、外形和结构复杂,从而导致零件成型加工工艺复杂,装配和焊接具有作业面积大、全位置作业状态、作业环境变化大等特殊特性,使部分的零件成型加工和辅助作业、绝大部分装配焊接作业和质量检测作业等的作业方式,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,船体装配和焊接的作业环境主要是室外、高空、狭窄空间等。这些作业环境的复杂作业条件,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、各种专用机械工作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,主要表现在其现场装配作业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,作业条件也避免不了这种类型的安装作业。同时,还具有在同一空间位置上要进行铺设多种管、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。

这些作业环境的特点,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。

2. 造船 CAM 技术的特点

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,这也是造船 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、铺设位置与走向、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,构件边缘加工和型材构件成型加工已实现了数控加工。至于板材构件的成型加工,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模具和成型过程控制模型,才有可能实现数控加工;水火加工则有待于成功研制出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、作业机械和过程控制模型等,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,要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件安装技术,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)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) 信息存储、传递和信息处理。
- (5) 生产过程的监测。

1.5 计算机辅助船舶制造技术的发展概况

1.5.1 历史的回顾

1946 年,世界上第一台电子计算机 ENIAC 问世以后,这项新技术就得到人们的广泛重