

高等学校教材

Jisuanji Fuzhu Chuanti Jianzao

计算机辅助船体建造

(船舶工程专业用)

王勇毅 董守富 主编

人民交通出版社

前 言

自 60 年代初研究成功船体数学放样以来,计算机在船体建造中的应用得到了迅速发展,已使计算机辅助船体建造成为国内外著名造船集成系统的主要支柱。

计算机辅助船体建造技术,已使船体建造的一些生产工序从繁重的手工劳动中解放出来,根本改变了原来的生产方式,实现了生产过程自动化。同时,可以预见研究和发展计算机辅助船体建造技术,乃是创建未来船体建造生产方式的有效途径,也是创建未来造船生产方式的重要组成部分。

本书是作者根据多年使用的教学讲义和从事本领域研究的基础上编写的,经中国船舶工业总公司船舶工程教材委员会审定为高等学校船舶工程专业教材。

全书包括计算机辅助船体建造概论,以及船体建造工艺(放样、加工、装配)中应用计算机技术的各项内容。第一章叙述计算机辅助船体建造的概论,第二章讨论船体型线的数值表示方法,第三章讨论船体型线光顺的数学描述,第四章讨论船体构件展开的数学方法,第五章讨论船体加工的数值表示方法,第六章讨论船体装配中的数值计算。

全书以船体建造工艺流程为主线,采用计算机技术、数学原理和工艺技术有机结合的方法,着重讨论建立计算机辅助船体建造的数学模型的思路和方法,既面向造船工艺的实际技术,又立足于本领域的发展。

本书由武汉交通科技大学王勇毅和大连理工大学董守富共同担任主编,王勇毅编写第一章和 § 2-2、§ 2-3、§ 2-4、§ 2-6、§ 3-1;董守富编写 § 2-1、§ 2-5、§ 5-4、§ 5-5、§ 6-1;戴寅生编写第四章和 § 6-2、§ 6-3;高万盈编写 § 3-2、§ 3-4、§ 3-5;林哲编写 § 3-3、§ 5-1、§ 5-2;叶家玮编写 § 5-3、§ 6-4。王勇毅和董守富对全书进行统稿。

本书承华东船舶工业学院胡毛宇副教授担任主审,胡毛宇副教授对书稿提出了极其宝贵的意见,对此深表感谢!

由于编者水平所限,欠妥和谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1994.5

内 容 提 要

本书系统叙述了计算机辅助船体建造技术。主要内容包括:计算机辅助制造概念和造船集成系统发展概况,船体型线的数值表示,型线光顺的数学描述,构件展开的数学方法,船体加工的数值表示,船体装配中的数值计算等。

本书系高等学校教材,亦可供造船技术工作者参考。

高等学校教材

计算机辅助船体建造 (船舶工程专业用)

王勇毅 董守富 主编

插图设计: 李京辉 正文设计: 周 圆 责任设计: 张 梅

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京市顺义牛栏山印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 14.5 字数: 360 千

1995年12月 第1次印刷

1995年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001 - 3000册 定价: 7.00元

ISBN 7-114-02123-2

U·01445

目 录

第一章 计算机辅助船体建造概论	1
§ 1-1 计算机辅助制造的概念	1
§ 1-2 造船 CAM 技术的特点	5
§ 1-3 造船计算机集成制造系统概述	8
§ 1-4 主要造船集成系统简介	12
§ 1-5 造船集成系统的发展概况	17
第二章 船体型线的数值表示	20
§ 2-1 曲线插值和拟合	20
§ 2-2 三次样条函数	35
§ 2-3 双圆弧样条函数	44
§ 2-4 三次参数样条函数	52
§ 2-5 三次 B 样条函数	60
§ 2-6 样条函数的引伸	68
第三章 船体型线光顺的数学描述	76
§ 3-1 船体型线光顺性准则	76
§ 3-2 回弹法光顺船体型线	82
§ 3-3 弯调松弛法型线光顺	92
§ 3-4 圆率序列法光顺船体型线	103
§ 3-5 船体型线的三向光顺	109
第四章 船体构件展开的数学方法	117
§ 4-1 船体构件展开计算的数学基础	117
§ 4-2 船体外板板缝布置的自动排列	126
§ 4-3 测地线展开船体外板的数值表示	136
§ 4-4 短程线法展开船体外板的数值表示	143
§ 4-5 映像变换法展开船体外板的数值表示	150
第五章 船体加工的数值表示	157
§ 5-1 数控加工和图形处理	157
§ 5-2 数控切割的数值计算	163
§ 5-3 型材数控冷弯的数值计算	172
§ 5-4 型材逆直线的数值计算	180
§ 5-5 水火弯板计算机模拟方法	187
第六章 船体装配中的数值计算	200
§ 6-1 分段装配胎架的数值计算	200

§ 6-2 船体分段重量重心计算	200
§ 6-3 分段吊装参数计算	210
§ 6-4 船体测量及数据处理	215
参考文献.....	223

第一章 计算机辅助船体建造概论

§ 1-1 计算机辅助制造的概念

自 1945 年美国诞生第一台电子计算机以来,计算机很快在社会各领域得到广泛应用,并日益向纵深发展,而使每个应用领域在技术上发生革命性变化。计算机在工业生产上的应用,开创了产品制造由刚性自动化向柔性自动化方向发展,由体力劳动领域向脑力劳动领域发展的新途径,使工业企业在技术和管理方面的各项工作相继实现自动化。

一、工业企业应用计算机的概况

当今世界的经济发展,因受资源日益减少的限制和科学技术飞速发展的影响,以及社会对产品多样化的需求,促使工业生产由过去的“少品种大量生产”向“多品种小批量生产”方向发展。因此,实现多品种小批量生产的产品制造自动化,已经成为当前最主要的课题。

随着电子技术的迅速发展,电子计算机采用了大量的大规模集成电路和超大规模集成电路,出现了小型化、高性能、低价格的微型计算机,其性能价格比得到了大大提高,从而为工业企业广泛使用计算机铺平了道路。工业企业为适应市场环境(企业竞争、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(多品种、小批量和高质量)的变化,纷纷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)等多项新技术成果,而且还开发了实现设计和制造一体化的 CAD/CAM 系统,使工业企业的产品制造方式发生了深刻的变革。

1. 计算机在工业生产中的应用

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数控(NC)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(CAM)的开端。1958 年随着刀库的发明,出现了能在一台机床上通过自动换刀实现多种加工的数控加工中心,能够在一次装夹中完成多道工序,使 NC 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 年研制成功用一台计算机同时控制数台机床的直接数控 DNC(direct numerical control)系统,但因它仍然解决不了价格昂贵和可靠性差等问题,故没有得到大范围推广。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 CNC(computer numerical control)机床后,数控机床才得以迅速发展。

为了改善推广应用数控机床的条件,摆脱手工编写数控程序的繁琐工作,1952 年便开始研制零件数控加工的计算机辅助编程系统,并于 1954 年由美国麻省理工学院(MIT)研制成功用于零件数控编程的自动编程工具(APT),1958 年完成了具有编译功能的 APT2,使数控技术的发展达到新的阶段。1965 年美国开始研制图形验证数控加工程序(简称图形编程),1967

年初步完成并投入使用,使数控加工的自动编程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 FMS (flexible manufacturing system)。它的研制成功不仅大大提高了机械加工的生产效率,还解决了在离散型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。

60 年代末期开始研究的计算机辅助工艺过程设计 CAPP (computer aided process planning),其基本功能有工艺路线设计、每道工序的详细设计、切削用量的选择、时间定额的制定等。由于零件形状和加工技术的复杂性和多样性,开发 CAPP 的技术难度仍然相当大。

2. 计算机在产品中的应用

计算机辅助设计(CAD)技术的开发与应用,是从 50 年代中期开始的,主要包括建立工程数据库、设计计算、三维交互造型和计算机绘图等。随着计算机图形学和计算机外围设备(如图形显示器等图形处理设备)的发展,设计人员可以采用人一机对话方式进行交互设计,使 CAD 技术得到飞速发展,不仅出现了可绘制 2、2.5 和 3 维图形的交互绘图系统,还产生了用于 3 维设计和工程分析的 CAD 系统,可以完成产品设计、材料分析、优化产品性能、制造要求分析及工、模具和专用零部件设计等工作。

3. 计算机在企业管理中的应用

电子计算机问世后,初期主要用于科学技术方面的计算,1954 年美国通用电气公司首次用来计算职工工资,使计算机进入企业管理领域,此后,随着计算机软、硬件技术的迅速发展,计算机在管理上的应用范围越来越广,而且由初期的单项数据处理阶段发展到数据综合处理阶段,进而发展为数据系统处理阶段,就是在企业管理中建立管理信息系统(MIS)。例如,美国 IBM 公司在 1968 年研制成功生产信息与管理系统(PICS),并在 70 年代以后改进为面向通信的生产信息与管理系统(COPICS)。此外,1978 年美国在原有的物料资源计划(MRP1)管理系统基础上开发出制造资源计划(MRP2)管理系统。

4. 计算机应用的一体化

人们深刻认识到降低产品成本、合理利用资源和缩短产品制造周期,是与 CAD 和 CAM 两者密切相关的,而且 CAD 和 CAM 之间也存在两者信息交互使用的问题。因此,70 年代中期,随着 CAD 和 CAM 技术的发展,开始研究两者的集成,即建立包括工程数据库在内的计算机辅助设计和辅助制造的(CAD/CAM)一体化综合系统。

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,也就是说,设计、制造和市场被看作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(图 1-1-1)。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,并据此进行生产。以计算机为技术手段的计划工作和管理工作,直接订出进度计划,并监视制造过程和控制产品质量。

5. 计算机应用的发展

随着科学技术的迅速发展,人类的活动领域越来越大,已涉及在高空、微重力、高压、高寒、高温等超过人类正常体力所能承受的极限条件下活动,这些均要求实行高度自动化作业;而且

工业产品日趋复杂、精密、高可靠性、高安全性和高度自动控制,使工业生产的生产条件越来越严格,要求在高真空、高清洁度、高温、深冷、高压、高危险性条件下进行作业,这种趋势也要求实行高度自动化作业。已有越来越多的产品不采用自动化作业已不能进行生产,这就使产品功能自动化和生产自动化成为现代技术的自然属性。再者,从 70 年代开始,出现了产品的生命周期和从科学研究到技术应用的周期越来越短;社会的多样化需求使产品的型号和规格日益增多,逐步形成了以多品种小批量生产为主流的工业生产方式;以及市场竞争愈来愈激烈等,同样要求实施对产品变化的适应性强的自动化作业。

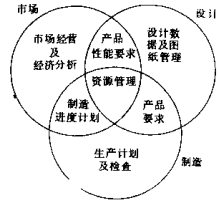


图 1-1-1 市场、设计、制造的相互关系

面对上述技术和经济的新趋势,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,才能适应今后的发展需要。也就是说,一方面要继续发展市场分析、产品设计、产品制造、管理和售后服务等诸领域的计算机应用,以实现各单元技术的高度自动化作业;另一方面要研究开发将上述自动化单元技术集成成为一种高度结合的制造系统,称为计算机集成制造系统 CIMS(computer integrated manufacturing system),以使企业各种生产要素之间的配置得到更好的优化,带来更高的技术上和经济上的效益。

1974 年美国哈林顿博士提出的 CIM 概念,是一种新的制造思想和技术形态,是未来工厂的模式,它的概念可表述为:

- (1)企业的各个环节是不可分割的;
- (2)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。

由上述可知,CIM 乃是企业所有环节自动化技术发展的继续和在更高水平上的集成,图 1-1-2 是 CIM 系统结构示意图。

CIM 概念标志着人们对“制造”具有更为深刻的认识。通常,人们仅把工艺规划、库存控制、生产及维护等活动称为“制造”,这是狭义的认识。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,以往只把制造看作物料的转换过程,就是将原材料加工、装配成产品的过程,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 则是在 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、销售以及售后服务等全过程;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。

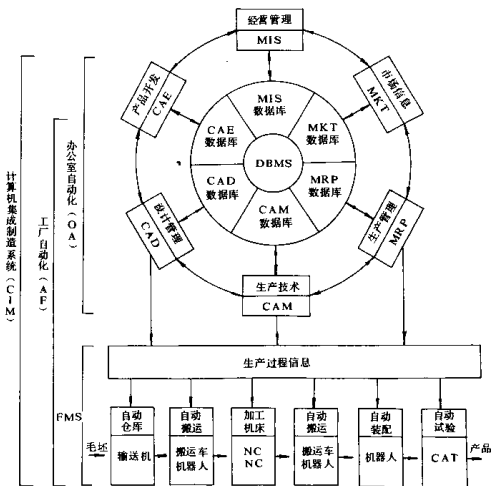


图 1-1-2 CIM 系统结构示意图

二、计算机辅助制造的概念和构成

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测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,应具有如下特点:

- (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,又要便于系统的扩展;
- (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。

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

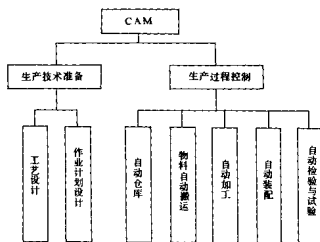


图 1-1-3 CAM 的构成示意图

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控制等功能的软件，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，就是决定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。前者主要是作业管理，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、搬运、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 造船 CAM 技术的特点

自 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。

一、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面正投影图。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。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,船体装配和焊接必然存在室外、高空、狭窄空间等作业的作业环境。这些作业环境的复杂作业条件,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,除丁管系、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。

二、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,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)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。

思 考 题

1. 试阐明船舶产品及其制造过程有哪些特点?
2. 造船 CAM 技术有哪些特点?
3. 试说明船舶及其制造过程的特点与造船 CAM 技术的特点有何联系?

§ 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,放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。

一、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。

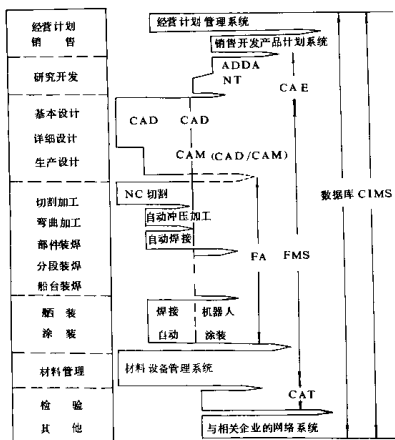


图 1-3-1 造船 CIMS 的构成

它主要有订货系统、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. 订货系统

订货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。

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。

(1)船舶产品设计(CAD)。它是根据 CAE 提供的船舶性能、结构与配置等信息,通过计算机及其软件,运用设计专家系统、三维几何造型和设计仿真等技术,进行船舶基本设计和详细设计,为船舶建造提供产品图形和数据的工作系统。

(2)工程设计。它是造船 CAM 技术中的生产技术准备的工作内容。根据船舶 CAD 系统提供的图形和船型与结构的精确数据,划分船舶建造的单元模块,分解船体构件和舾装系统需加工的零件与附件,对船体构件进行展开和套料的计算,对船体构件和舾装零件与附件等进行后置处理,生成 NC 代码,以及为监控系统提供所需的生产管理信息等。

此外,还应为工厂决策部门和管理部门提供作业计划设计的各种信息。

(3)监控系统。它是由车间计算机根据作业计划等管理信息,各种数控工作机械、机器人等反馈的信息,经过数据处理与计算,并根据处理结果,对生产过程的物流流程和各种自动化机器进行监控的计算机应用系统。

(4)物料资源管理系统。就是自动化仓库管理系统。它是通过计算机系统对原材料、零件、外购件等的入库、自动分类、自动堆垛、出库等进行控制和管理的计算机应用系统。

4. 造船工程数据库

造船 CIMS 需要将订货、设计、施工直至交船的各层次信息集成起来,这就需用统一的数据格式的造船工程数据库,将分散的各个层次需要的业务数据、工程数据等千差万别的数据统一管理起来,以保证数据的独立性、共享性、最小冗余度、完整性和安全性等。

二、造船 CIMS 的发展策略

国内外的造船界都已确认,造船 CIMS 是未来的造船生产方式,并纷纷制订了发展规划和目标。由于各国的经济和科学技术发展的实际情况各不相同,所以实现造船 CIMS 也不会有完全相同的模式。但是,在发展造船 CIMS 的过程中,仍然存在着共同的发展方法和需要解决的各种技术问题。

1. 现有计算机应用系统的局部集成和改造

造船业经过长期的开发研究,以单项技术自动化为目标的计算机应用系统相继投入使用,大大促进了造船技术的发展和经济效益的提高。同时,在 CAD/CAM 系统集成方面做了大量开发研制工作,出现了目前的各种造船集成系统,为发展造船 CIMS 提供了一定的技术准备。

但是,这些单项技术的计算机应用系统和造船集成系统都不是以实现造船 CIMS 为目标而开发的,而且还有一些单项技术计算机应用系统尚未局部集成进造船集成系统,所以,对应用中的单项应用系统和造船集成系统,应按照满足造船 CIMS 需要的目标进行改造和进一步的局部集成。

2. 继续研究开发单项自动化技术

造船 CIMS 是由分散的各种自动化系统有机地集成起来的。但是,由于船舶制造过程复杂,涉及范围广,而在造船领域中的自动化系统仅覆盖了船舶制造过程的部分内容,因此,需要在造船 CIMS 规划方案的指导下,按照造船 CIMS 的技术要求,对船舶制造过程中仍未实现自动化的各项内容,研究开发单项自动化系统。一方面可直接投入使用,以提高其局部效益;另一方面也为实现造船 CIMS 做好基础技术准备工作。

3. 研究完善新的造船工艺技术

制造技术是实现造船 CIMS 的主要基础之一。现在的船舶制造技术,由于受零件加工技术的限制,焊接变形的影响,零件和半成品的制作精度无法达到互换性要求,致使其生产过程必须设置现场修整作业。这种现场修整作业制约了装配作业自动化的进程,当然也不适应造船 CIMS 的需要。因而寻求新的零件加工技术和焊接技术,使造船生产作业全部向公差制过渡,就成为实现造船 CIMS 的必不可少的基础技术准备工作。

70 年代出现的模块造船法,仅仅是工业模块制造法的雏形,这种模块制造法尚未达到实现装配工艺自动化的条件。因此,对现有的模块造船法应进行发展和完善,使之达到工业模块造船法的水平,使预制的模块成为具有高度完整性大型单元模块,为实现装配工艺自动化创造条件。

4. 研究开发造船用机械电子技术

机械电子技术的优越性在于它能使工作机械成为内藏或配备集成电路装置的电子化机械,便于实现工厂生产活动的自动化。

根据船舶制造的作业方式和作业环境特点,应研究开发适合造船特点的高精度与高可靠性的敏感元器件、智能机器人和监控技术,以发展造船柔性制造系统。

5. 开发实船推进性能的模拟技术

应借鉴飞机制造等行业中成功应用的流体力学计算方法,以计算处于自由液面(水面)状态下的船体周围流体性状,并开发评价实船推进模拟效果的技术,分析高密度水流的技术。

6. 开发船舶设计的二维几何造型技术

在船舶设计中,要解决 CAD 系统用三维几何造型技术表示整体结构物的技术,以及在三维空间内进行改造和修改的技术问题。

7. 建立造船工程数据库

造船企业结构是层次结构,各层的职能分别为计划、管理、协调、控制和执行,因而其信息特点也不相同,故其包含了图形数据、结构化数据和非结构化数据等全部数据类型。在造船 CIMS 中需要实现企业各层之间的信息传递和共享,要求对企业活动中涉及的各类数据进行统一管理。所以,在开发造船 CIMS 时,必须进一步研究开发能满足其数据管理要求的数据库管理技术,并建立与其相适应的造船工程数据库。

8. 系统技术与方法的研究

面对这样复杂的系统,如何描述、分析和设计,如何指导系统运行于一个满意状态下,是一个尚待解决的问题。在研究开发造船 CIMS 过程中,应借鉴其他行业的研究成果,学习国外造船业开发造船 CIMS 的技术和经验,研究解决适合自己特点的系统技术和方法。

思考题

1. 造船 CIMS 的概念是什么?

2. 造船 CIMS 由哪些内容构成?

3. 发展造船 CIMS 为什么需要研究完善新的造船工艺技术和开发单项自动化技术?

§ 1-4 主要造船集成系统简介

60 年代初,随着计算机及其应用技术的发展,各国造船界相继研究成功了包括船体型线光顺和船体构件展开的数学放样,以及数控绘图机和数控切割机,为船舶建造应用数控技术实现综合自动化开辟了道路。此后,在继续研究开发其他单项技术的计算机应用过程中,发现分散孤立地研制单项技术的计算机程序存在着不容忽视的缺点,为了提高计算机应用的整体效益,世界造船业纷纷致力于造船集成系统的研制工作。通过系统分析和统筹规划,首先将已投入使用的成果经过适当修改和完善后有机地集成起来,同时,规划出继续研究的项目和研判要求。这项开发工作很快就取得了极显著的效果。

到目前为止,世界造船业开发成功的主要造船集成系统或造船计算机应用程序系统多达 40 个以上。其中外国较著名的造船集成系统有挪威的奥托控(AUTOKON)系统,西班牙赛纳(SENER)公司研制的福兰(FORAN)系统,瑞典造船计算中心(VDC)研制的维金(VIKING)系统,考库姆(KOCKUM)计算机系统公司研制的斯梯贝尔(STEERBEAR HULL)系统,英国的 BRITISHIPS 系统,日本日立造船公司的 HICAS 系统,三菱重工业公司的 SHIP 系统,美国的 CASDOS 系统等。我国的造船集成系统研制工作虽然起步较晚,在专业技术人员的努力下,已投入使用的有 HCS 等系统。

这些系统的问世,促进和完善了船舶设计和生产工艺准备工作,促进了造船数控技术的发展和运用,缩短了船舶设计和建造周期,提高了产品质量和企业管理水平。现简要介绍某些系统的主要特点。

一、奥托控(AUTOKON)系统

这个系统是由挪威中央工业研究院(CHIR)信息处理研究室和阿克尔(AKER)集团的 STORD 及 BETGEN 造船厂联合研制成功的,它是世界上最早研制成功的造船集成系统。从 1960 年开始研究,1965 年初步投入使用,目前世界上已有 18 个国家和地区的 128 家造船公司或船厂使用或部分引进这个系统。

奥托控系统开始是以船体建造为目标而开发的,其早期模式乃是计算机辅助船体建造系统。但是通过生产实践发现,把生产和设计孤立起来是不可能有效地解决生产上存在的问题的,而且只解决船体建造的计算机应用,也不可能从整体上获得较好的经济效益。因此,需要将船舶设计和建造紧密联系起来,综合考虑船舶设计和建造的全部要求。同时,根据 CHIR 提出的长期研究规划,乃是研制覆盖设计、生产、管理全过程的功能齐全的计算机辅助造船集成系统,也要求继续扩大系统的覆盖面。

从 70 年代后期起,奥托控系统首先将早期的面向船体建造为主的系统发展为 CAD/CAM 系统,系统构成如图 1-4-1 所示。继而向舾装设计与制造、物资管理和管系等方面发展,到 80 年代中期,发展成为包括“奥托控”建造(内含“奥托控”舾装)。“奥托控”物资和“奥托控”管系三大部分的集成系统,形成了应用范围比较广泛的船舶制造信息系统。

该系统具有以下特点:

(1)是以数据库为核心,分别由船舶 CAD、船舶 CAM、部分企业管理等功能模块集成的系统;