



MCAE

计算机辅助机械工程

杜平安 编著

机械工业出版社

T11-39
1

高新技术丛书

MCAE 计算机辅助机械工程

杜平安 编著



机械工业出版社

2p28/3502

计算机辅助机械工程(Mechanical Computer Aided Engineering,简称MCAE)是一种综合性的产品开发方法和集成化的软件系统。它以统一数据库为核心,将产品开发所需要的设计、分析、测试和数控编程等多种手段集于一体,目的在于为机械产品开发建立一个多功能的并行工程环境,从而尽可能地缩短开发周期、降低开发费用和提高产品质量。本书介绍MCAE的基本内容,全书共分八章,第一章介绍MCAE的基本概念、特征、组成及主要功能,也介绍了MCAE的运行平台和几个常见MCAE系统的主要功能。第二章至第八章介绍组成MCAE系统几个主要功能模块的有关内容,包括计算机绘图、几何造型、有限元分析、结构优化、系统动力分析、测试数据分析和数控编程。本书内容力求新颖、实用和简明扼要,对理论性较强的内容也提供了必要的理论推导。

本书可作为高等院校机械类本科生、研究生的教学参考书,对于从事CAD技术的工程技术人员也有很大的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

MCAE 计算机辅助机械工程/杜平安编著. —北京:机械工业出版社,1996
(高新技术丛书)
ISBN 7-111-04962-4

I. M… II. 杜… III. 机械工程-计算机应用-应用程序 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 17968 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)
责任编辑:王福俭 版式设计:崔永明 责任校对:肖新民
封面设计:方芬 责任印制:卢子祥
北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行
1996年3月第1版 第1次印刷
787mm×1092mm 1/16, 14印张·340千字
0001—2000册
定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

计算机辅助机械工程(Mechanical Computer Aided Engineering,简称 MCAE)是一种综合性的产品开发方法和集成化的软件系统。它以统一数据库为核心,将产品开发所需要的设计、分析、测试和数控编程等多种手段集于一体,目的在于为机械产品开发建立一个多功能的并行工程环境,从而尽可能地缩短开发周期、降低开发费用和提高产品质量。MCAE 与一般 CAD 的主要区别在于它是一个集成化的软件系统,这里的“集成”不是将各种功能的 CAD 系统简单地组合在一起,而是要使设计信息在各个子系统之间自由、快速、双向和连续地流动。为满足这种集成要求,MCAE 在产品开发方式、零件表示模型、数据结构、编程方法、运行平台以及功能、性能、界面、开放式结构等方面都具有特殊的要求。

为了更好地了解 MCAE 方法和使用 MCAE 系统,特编写此书。

本书共分八章。第一章介绍 MCAE 的基本概念、特征、组成及主要功能,也介绍了 MCAE 的运行平台和几个常见 MCAE 系统的主要功能。第二章至第八章介绍组成 MCAE 系统的几个主要功能模块的有关内容,包括计算机绘图、几何造型、有限元分析、结构优化、系统动力分析、测试数据分析和数控编程。本书内容力求新颖、实用和简明扼要,对于理论性较强的内容也提供了必要的理论推导。

本书编写过程中得到了成都电子科技大学 CAE 研究中心主任、博士生导师王豪才教授的大力支持,在此深表感谢!

由于本书涉及面广,内容较新,限于编者水平,书中难免有不足之处,竭诚希望专家、读者指正!

编 者

1995 年 5 月

目 录

前言

第一章 概述 1

第一节 计算机辅助机械工程(MCAE) 1

..... 1

一、串行工程与并行工程 1

二、MCAE 的基本特征 3

三、MCAE 的发展 7

第二节 MCAE 的组成及其功能 9

一、实体造型模块 9

二、有限元分析模块 10

三、系统动力分析模块 11

四、优化设计模块 12

五、测试信号分析模块 13

六、数控编程模块 13

七、绘图模块 14

第三节 工作站网络系统 15

一、工作站 15

二、计算机网络 17

第四节 常见 MCAE 系统简介 22

一、I-deas 22

二、EUCLID-IS 23

三、UG I 25

第二章 计算机辅助绘图 27

第一节 计算机绘图系统的基本功能 27

..... 27

一、绘图功能 27

二、标注功能 30

三、变换功能 31

四、编辑功能 32

五、观察功能 32

六、剪裁功能 32

七、其它 32

第二节 图形元素的图形属性 33

一、层 33

二、组 34

三、线型 34

四、线宽 34

五、颜色 34

第三节 点的定位方式 34

一、动态引导定位 34

二、屏幕定位 35

三、坐标定位 35

四、栅格定位 35

第四节 图形元素的选择方式 36

一、动态引导选择 36

二、过滤选择 36

三、分类选择 36

四、窗口选择 37

五、所有选择 37

第五节 视图操作 37

一、视图类形 37

二、视图建立 38

三、视图属性 39

四、视图管理与操作 40

第六节 软件的二次开发 41

一、符号 41

二、宏块与编程语言 43

三、变量几何 44

第三章 几何造型技术 48

第一节 几何造型的基本内容 48

一、几何造型中的常见模型 48

二、形体表示方法 49

三、形体集合算法 52

四、形体的精确表示和离散表示 53

第二节 常见几何造型方法 54

一、体素造型 54

二、构造实体 55

三、由特征生成三维实体 55

四、扫描变换生成形体 55

五、曲面拟合生成形体 57

六、由曲面生成实体 59

七、通过变换生成形体 60

八、由拓扑层次关系生成形体 60

九、倒圆与倒角操作 60

十、薄壳方法 60

第三节 特征造型技术 61

一、特征的概念 61

二、形体生成历程 62

三、特征定义	63	五、局部最优解与全域最优解	120
四、特征调用	66	六、优化方法	121
第四节 形体浓淡显示	66	第一节 数学规划法	122
一、光栅式图形显示器	66	一、无约束最优化方法	122
二、光照模型	68	二、约束最优化方法	126
三、仿真算法	70	第二节 优化准则法	130
四、浓淡图象生成技术	72	一、满应力准则法	131
第四章 结构有限元分析	76	二、库恩-塔克准则法	134
第一节 有限元法的基本原理	76	第四节 有限元优化设计	139
一、有限元法的基本概念	76	一、引言	139
二、弹性力学的基本方程	76	二、有限元优化模型	140
三、平面问题的有限元法	79	三、单元特性优化	142
四、有限元分析的基本步骤	85	四、形状优化	143
第二节 有限元网格划分	86	第六章 系统动力分析	148
一、网格划分的一般原则	86	第一节 概述	148
二、半自动划分网格	89	一、动力分析与动态设计	148
三、自动划分网格	91	二、动力分析的主要手段	149
四、不同类型网格的组合	93	三、系统动力学模型	149
五、结构对称性的利用	95	第二节 部件结构的模态分析	151
第三节 有限元模型中的节点位移约束	98	一、模态参数	151
一、节点位移坐标系	98	二、模态变换与模态分析	153
二、绝对位移约束	99	三、复模态分析	155
三、相关位移约束	100	第三节 部件类型及属性	159
四、约束条件的处理方法	100	一、部件分类及属性	159
第四节 结构分析中的单元类型、属性	103	二、自由模态部件	160
及其应用	103	三、约束模态部件	161
一、平面单元	104	四、测试模态部件	163
二、空间单元	105	五、有限元部件	163
三、轴对称单元	106	六、子结构部件	163
四、杆、梁单元	107	七、刚体部件	164
五、板单元	109	第四节 部件联接方式	165
六、弹簧单元	112	一、直接联接方式	165
七、间隙单元	113	二、联接器联接方式	166
八、刚体单元	114	三、约束等式联接	167
九、集中质量元	115	第五节 模态综合方法	168
第五章 结构优化设计	116	一、模态综合法的一般步骤	168
第一节 优化设计的基本概念	116	二、约束模态综合法	170
一、引言	116	三、自由界面模态综合法	171
二、优化数学模型	116	第七章 测试信号分析	173
三、优化问题分类	118	第一节 概述	173
四、优化设计的几何描述	119	一、信号分析的意义和目的	173
		二、信号分类	173

三、信号分析系统	174	五、结构动力学模型的识别	198
四、信号分析方法	174	第八章 计算机辅助数控编程	200
第二节 机械系统动态特性的描述方法	175	第一节 数控加工的基本原理	200
一、系统特性方程	175	一、数控机床的组成及工作原理	200
二、传递函数	177	二、数控机床的控制方式	201
三、频率响应函数	178	三、数控机床的坐标系	203
四、脉冲响应函数	180	四、数控代码与手工编程	203
第三节 信号分析方法	181	第二节 语言编程方式	204
一、均值与方差分析	181	一、APT 语言的发展	204
二、相关分析	182	二、语言编程的工作流程	205
三、频谱分析	185	三、APT 语言的语句格式	205
四、功率谱分析	189	四、APT 语言的语句类型及作用	206
五、概率密度分析	190	第三节 交互式图形编程	211
第四节 实验模态分析	191	一、图形编程的工作方式与特点	211
一、实验模态分析的目的	191	二、图形编程的一般过程	213
二、结构动力特性的模态表示	192	参考文献	218
三、模态实验	194		
四、模态参数识别	196		

第一章 概 述

第一节 计算机辅助机械工程(MCAE)

计算机辅助机械工程(Mechanical Computer Aided Engineering,简称 MCAE)是一种综合性的产品开发方法和集成化的软件系统。它以统一数据库为核心,将产品开发所需要的设计、分析、测试和数控编程等多种手段集于一体,以便为机械产品开发建立一个多功能的并行工程环境,从而尽可能地缩短开发周期、降低开发费用和提高产品质量。

一、串行工程与并行工程

面对激烈的产品市场竞争,企业总是在不断寻求提高其产品竞争能力的各种途径。对于具有同样功能的产品,决定其竞争能力的主要因素是速度、质量和费用。速度是指产品开发的快慢,通常以开发周期的长短来衡量。一个产品从概念设计、功能设计、结构设计、分析、试制、实验,直到合格产品出厂所需要的时间叫做产品的开发周期。它包括设计周期和制造周期。显然,产品开发周期短,投放市场早,竞争对象也就少。质量是指产品性能的好坏,是决定产品竞争能力的关键因素。费用是指产品的成本,降低成本能够降低产品的价格,或提高企业的经济效益。因此,缩短产品开发周期、提高产品质量和降低产品成本是产品开发的基本要求。

机械产品的开发是一个多部门共同参与、多学科相互交叉的复杂系统工程。企业内的决策管理人员、设计人员、分析人员、实验人员、工艺人员、加工人员以及检验、维修和供销人员等都将参与产品的开发,他们组成不同的工作小组,小组之间进行不同的分工与合作。如设计人员进行产品的方案、功能和结构设计,决策管理人员进行方案的决策和宏观管理,分析人员分析产品是否满足规定的强度、刚度和动态性能等方面的要求,工艺人员评价零件的工艺性能并进行工艺设计和数控编程,采购人员和维修人员提供产品所需材料、标准件、外协件等方面的情况,销售人员提出用户对产品性能的要求等等,这些工作小组成员根据其专业知识的特点,对产品开发做出不同的贡献。产品越复杂,这种分工与合作就越多。因此,如何将各个工作小组有机地组织在一起,使它们能够相互协调、有条不紊地进行工作,对产品的开发速度、质量和成本起着至关重要的作用。

产品开发的工作方式主要有串行方式和并行方式两种。串行方式就像一条生产流水线,开发人员按照其工作性质不同而依次排列在流水线上,当某一工作小组完成其规定的工作后便将设计任务传递给下一个工作小组。如设计人员完成方案设计后,由决策人员进行方案评估,选定方案后再进行具体结构设计,然后由分析人员进行强度、刚度等计算,若不符合要求,则返回到前面进行修改;反之,则传给工艺人员进行工艺设计,设计任务如此依序向下传递,这种串行地开发产品的过程称为串行工程,如图 1-1 所示。

串行工程有几点不足。首先,当一个小组工作时,其余小组处于待工状态,因此开发周期受每个小组工作时间的影 响。其次,这种方式不利于小组成员之间以及小组与小组之间多学科知识的相互交流,这就限制了每个小组成员最大限度地 将本专业的知识运用到产品开发中,因而难以尽可能地提高产品质量和降低成本。

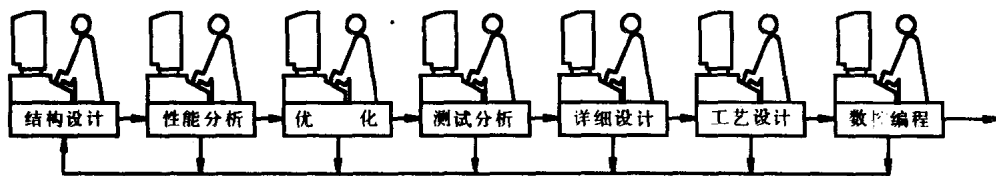


图 1-1 串行工作方式

和以时序为特征的串行工程相反,并行工作方式要求各个小组成员同时或并行地参与产品的开发,并从不同的角度、以不同的观点决定产品的设计问题。这种方式允许在某一时刻,各工作小组都能进行各自的开发工作,以尽量缩短等待时间。如产品的设计人员完成产品的初步设计后,就可由其他开发人员分别同时进行性能分析、工艺设计、数控编程等等,并根据分析结果和工艺要求对结构提出改进措施。因此每个工作小组的工作时间并不直接影响整个产品的开发周期;更重要的是,并行工程还允许在产品设计之初就能进行多学科的、不同观点的充分交流。通过这种交流,能够将不同学科的先进思想与技术融入产品的设计中,并满足不同学科对产品性能提出的要求,从而使产品的设计充分体现各种新特征与新功能。这种并行地开发产品的过程称为并行工程(concurrent engineering),如图 1-2 所示。实施并行工程能使企业迅速而廉价地制造出高质量的产品。

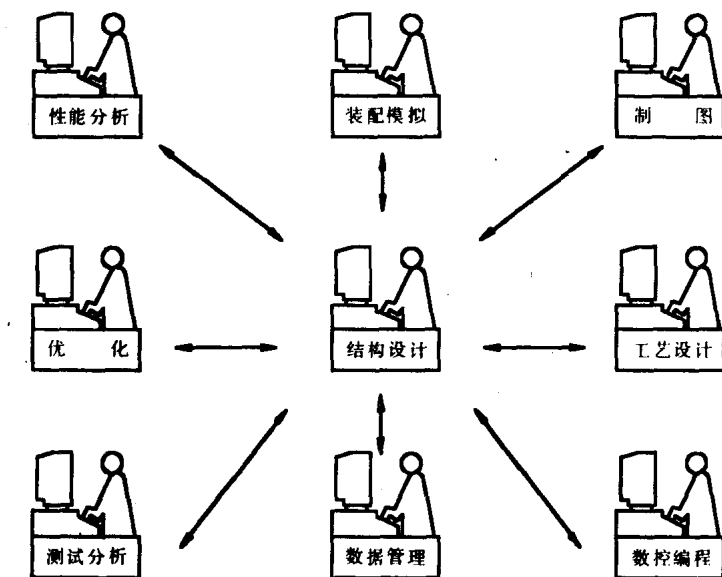


图 1-2 并行工作方式

并行工程的实施应具备下列几个必要前提:

(1) 信息交流 由于产品开发是具有不同分工的各个工作小组或成员共同参与的过程,各个小组或成员之间必然存在相互联络和信息交换。如何快速、准确和可靠地实现信息交流,是并行工程成功的前提。

(2) 知识集成 复杂产品的开发往往需要不同学科的知识,如结构设计知识、有限元分析知识、模态实验知识、工艺知识和数控编程知识等等。如果产品开发所集成的知识越广,并行工程的功能也就越强,设计时所能考虑的问题越多,就能采用较多的先进技术和避免不必要的设计错误。

(3) 组织管理 由于多个部门和人员同时、共同参与产品的开发,那么怎样才能协调好人与人之间及跨部门之间的相互关系,使它们能够有条不紊地共同协调工作,是实现并行工程的关键。

目前,研究解决这类问题的一门学科称为协同工程学(Team Engineering)。如果将并行工程比如一个人体工程的话,信息交流就相当于人的血液循环,知识集成相当于人各个器官的综合感受,组织管理就是人大脑的功能,三者有机结合才能形成完整的系统工程。

近几十年来,随着计算机技术的飞速发展,机械 CAD 技术作为企业提高效益和产品质量的一项很有前途的技术而受到广泛重视并得到了很大的进步。针对不同的应用要求,相继研究和发展的许多依赖于计算机手段的机械设计方法与技术,如有限元方法、优化设计方法、模态分析方法及计算机绘图技术、几何造型技术、计算机辅助数控编程技术等等,并开发出了许多实用软件系统和语言,如计算机绘图系统 Auto CAD,有限元分析系统 ANSYS、NASTRAN,动力分析系统 Adams,几何造型系统 Pro-engineer,自动编程语言 APT 等等,这些系统为实现机械设计自动化起到了很大的推动作用。

然而,以上这些针对不同应用的 CAD 系统是各自独立的,彼此之间缺乏相互联系,因此也有人称之为“自动化孤岛”。这些独立的孤岛不利于开发人员之间的信息交流和设计数据的充分共享,如设计人员在绘图系统中完成的产品结构设计,有限元分析人员进行分析时还需重新建立结构的几何模型,编程人员则须用几何定义语句重新描述零件几何形状,分析人员和编程人员根据分析结果和工艺要求对结构提出的改进也不能自动反映在零件的几何模型中。可见,由于设计信息不能被各 CAD 系统所共享及在各个系统之间连续流动,信息传递存在断点,因此要输入、处理、传递巨大的设计信息,必然造成大量的重复劳动和传递的错误。尽管目前各系统之间可以通过标准的数据交换规范(如 IGES)和中间介质实现数据交换,但这种方式难以满足数据交换速度和数量的要求。显然,独立的 CAD 应用软件系统不能完全满足对并行工程的要求。

计算机辅助机械工程正是为了适应对并行工程的要求而逐步发展成熟起来的一种机械设计自动化(MDA)系统。80年代初,美国专门从事结构动力学研究的 SDRC (Structural Dynamics Research Corporation)公司提出 CAE 的概念,并推出初具 CAE 特征的机械设计自动化系统 Ideas。这里字母“I”体现了该系统的主要特征——集成(Integrated),即它将用于产品开发中的设计、分析、测试和数控编程等功能集于一体,整个系统包括计算机绘图、实体造型、有限元分析、模态分析、测试信号分析以及数控编程等模块,每个模块在产品开发中完成特定的功能,其目的是为机械产品开发提供一种多功能的综合性的开发环境,以推动设计速度、设计质量和效益的全面提高。

近几年来,随着计算机硬件技术、软件技术、数据库技术以及设计方法学等方面的发展,特别是高速度、大容量和具有图形加速功能的工程工作站的出现,推动了 MCAE 技术的飞速发展。MCAE 系统在功能、性能、数据结构、集成方式、开放结构、人机界面、人工智能等方面都有很大的提高、加强和完善。目前,国内已引进数百套 MCAE 系统,它们正在为我国经济建设和推动企业进步发挥越来越重要的作用。

二、MCAE 的基本特征

为适应并行工程的要求,现代 MCAE 技术具有以下基本特征:

1. 以实体模型为基础

在传统的产品设计中,一般用平面视图表达产品零件的结构特征和装配关系,而 MCAE 方法则采用三维实体模型表示零件结构,这是因为和二维视图相比,实体模型具有三个优越性。

(1) 实体模型包含了零件完整的设计信息且无二义性。这些信息不仅包括零件的几何与拓扑信息,还包括如表面积、体积、质量、惯性矩、惯性主轴和密度等物理、材料信息,甚至还可包括公差、NC 刀位数据等加工信息。丰富的设计信息是进一步分析模拟的基础。

(2) 三维模型更能清楚、直观地反映零件形状特征和装配关系。基于三维模型具有高度真实感的浓淡图象,不仅能形象地表达零件的外观形状和通过剖切产生的内部结构,还能反映零件的色彩、质地、纹理及粗糙程度等表面特征。这对并行工程是必要的,因为知识结构的差异,并非所有产品开发人员都能像设计人员那样通过平面视图的组合很快地理解零件结构和装配关系。特别是对领导决策人员、供销人员来讲会更加困难。因此,通过直观的浓淡图象,可以更快、更好地进行产品决策和信息交流。此外,利用实体模型进行产品结构设计的同时,还能进行产品的外观造型设计。

(3) 实体模型是实现集成的基础。用实体模型表示的产品零件,能为产品进一步的分析模拟和数据编程直接引用或提供充分的数据。例如,产品的装配模拟可以检验各零件之间位置的关系和干涉情况,并进行尺寸链的公差分析,确定合理的公差分配;基于实体模型的机构模型,在机构分析中可以自动和精确地计算各构件的重量和惯性力;有限元分析和结构优化中,可直接在实体模型基础上进行三维有限元网格的自动划分;在系统动力分析中,定义的刚体部件的质量、惯性等特性也直接来自实体模型;数控编程时,利用实体模型的边界曲线、曲面和孔的中心位置可直接产生数控加工的刀具轨迹。最后,将实体模型向给定的平面投影,可以生成零件的各种二维视图。图 1-3 是一凸轮实体模型用于机构装配、有限元分析、数控编程和投影生成二维视图的情况。可见,将实体模型直接用于各种分析模拟和数控编程,可避免零件结构的重新定义,节省大量的人员重复劳动,因而可以大大提高产品开发的速度。

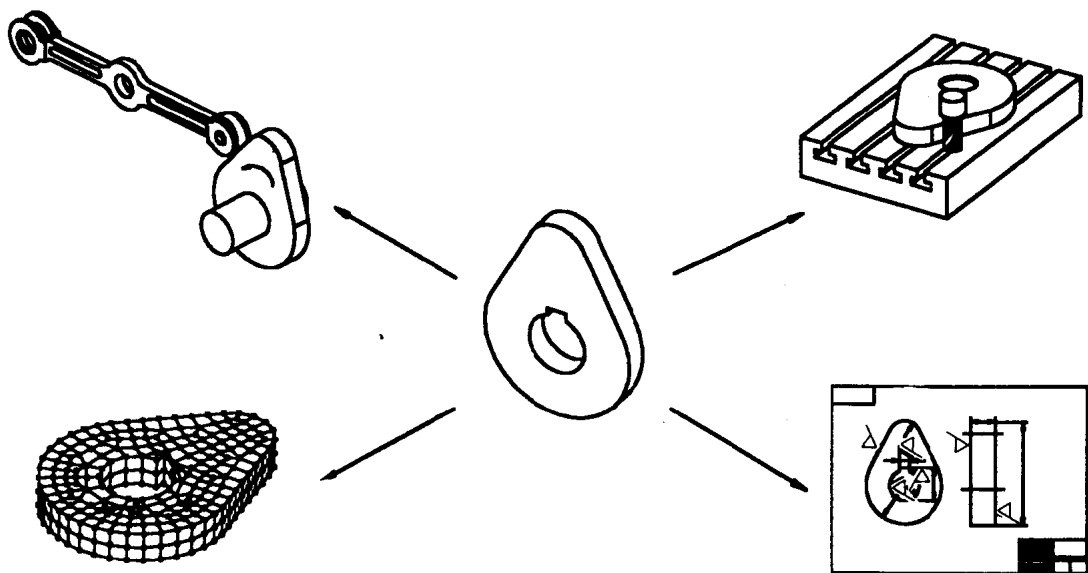


图 1-3 基于实体模型的集成

2. 以模拟为推动力

MCAE 方法的主要目的之一就是要要在产品设计付诸制造之前,最大限度地利用计算机手段对设计产品的各种性能进行全面、深入的分析模拟,以尽量将设计问题发现在设计阶段,或使产品性能达到最优的设计指标,从而提高产品质量和一次投产的成功率。分析模拟是 MCAE 的主体,是评估设计优劣、改进设计质量的主要手段,是衡量一个 MCAE 系统功能强弱的主要指标。目前使用的主要分析方法有优化方法、有限元分析方法、模态分析方法和以实验数据为基础的各种信号分析方法等。因此,只有利用计算机对设计产品的性能进行充分的分析模拟,才能推动设计效率、设计质量和产品效益的全面提高。

3. 以集成的知识为结构

MCAE 系统与一般 CAD 系统的一个显著区别在于,它是一个由不同知识模块构成的、集成化的软件系统。每个模块类似于一个一般的 CAD 系统,但各个模块并不是彼此独立的,它们通过一定的方式集成为一个有机的整体。通过集成,模块与模块之间可以自由传输产品的各种设计信息,从而促进开发人员之间进行充分的信息交流。这里对“集成”有两方面要求,一是集成知识的广泛性,即要求 MCAE 系统尽可能多地集成产品开发所需要的知识。这些知识包括用于设计的、分析的、测试的和加工方面的,其中每个方面的知识又包括一些具体的应用方法与技术,如用于分析的有限元分析、机构分析、公差分析、系统动态分析、测试数据分析等,用于设计的实体建模技术、曲面造型技术、特征造型技术等等。很明显,MCAE 系统所集成的知识越多,其功能也就越强;二是集成方式的灵活性,各个知识模块的集成不应是简单的联接,而是必须保证设计信息在各模块之间能够快速、无误、双向和连续地流动。正是基于这种信息流动,各工作成员才能运用 MCAE 的各个模块相互协调地进行工作。

4. 以公共数据库为核心

MCAE 由集成的知识模块组成,而一个数据结构统一的公共数据库则是各个模块集成的枢纽。公共数据库包括一个产品或零件几乎所有的设计信息,各个应用模块和数据库保持并行相关的链接关系,它们所需要的所有数据均来自这个数据库,而各个模块所产生的所有其它数据(如分析结果、NC 刀具轨迹数据等)也都存入该数据库中。这样,公共数据库就成了各个应用模块获取和存储数据的唯一场所,如图 1-4 所示。

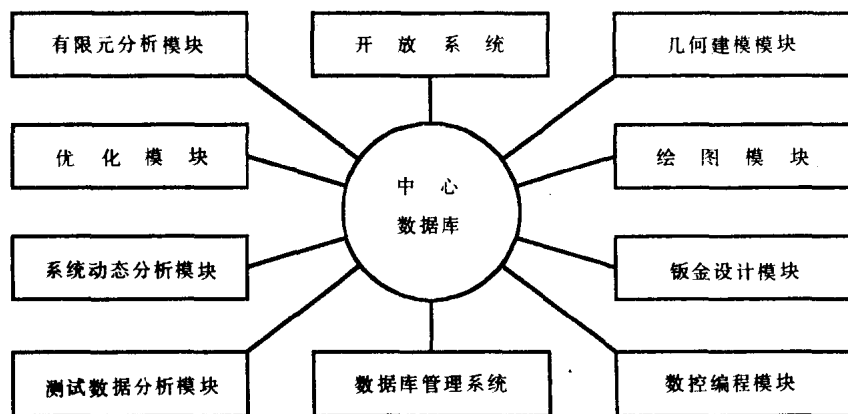


图 1-4 以公共数据库为核心的 MCAE 系统

由于数据库中的数据是结构统一的单一数据,所有应用模块均是通过链接关系引用数据,而不是对数据的重复拷贝。因此,每个应用模块在获取库中信息时不必对库中数据进行修改、

转换、编译或重新输入,从而避免重复劳动和信息传输错误,任一模块对库中数据的改变也都将自动地反映到其它模块上。

鉴于在 MCAE 系统中的特殊作用,对公共数据库的基本要求是:

(1) 数据完整性 由于公共数据库要为所有应用模块提供数据,因此它必须包含较完整的设计数据,这些数据包括几何和拓扑信息、尺寸与公差信息、材料特性、分析结果、测试数据、NC 加工刀具轨迹等等。

(2) 结构统一性 各个模块只有采用完全统一的数据结构,才能达到产品数据的唯一性,以及产品开发人员都使用各个模块都能识别的数据进行交流,从而保证数据库和应用模块之间以及通过数据库各应用模块之间的并行相关和数据的自由交换。

5. 以产品数据管理系统为工具

MCAE 系统是一种综合性的产品开发软件,产品开发人员分别应用系统的不同模块进行工作,开发过程中他们必然产生和需要大量的设计数据,以及对数据进行必要的修改和更新。这就要求利用产品数据管理系统对庞大的设计数据进行统一的管理和控制,以使开发人员能够方便地存取和快速查询到所需要的设计数据,及时作出对产品设计的评价、修改和决策,并进行合理的任务分配和数据使用、修改权限的控制等,从而保证开发过程高效、有序地进行。因此,产品数据管理系统是保证各模块应用人员之间充分共享数据和相互协同工作的必要工具。

6. 以图形编程为末端

产品开发经设计、分析、试验以及再设计、再分析等多次反复,直至产品的设计性能达到预定的指标后,最终由数控编程模块生成零件的数控加工指令,并将这些指令直接或间接传输到数控机床进行加工。在应用较早的语言编程方式中,设计零件的形状和大小由编程人员通过几何定义语句进行描述,然后再输入到编程系统。这就需要对已有的设计信息重新进行定义和输入,造成设计与制造两个环节出现信息传递的断点,显然,这不符合 MCAE 的集成特征。图形编程方式直接利用零件几何模型中的点、线、面生成刀具轨迹数据,其最大特点就是能利用现存的设计数据,而不需要人在设计与编程模块之间进行数据转换,因而可大大提高编程效率。可见,图形编程是实现设计与制造集成的关键技术。

7. 以网络化的计算机系统为平台

并行工程的各个工作小组成员分别应用 MCAE 系统不同的应用模块进行工作,他们可能在不同的场所利用不同的计算机设备。如果各个应用模块分别安装在各自独立的计算机设备上,那么各模块之间的信息交流只能借助中间介质(如磁带、磁盘、光盘等)并通过文件方式进行,这不仅制约了数据交换的速度,而且也使数据交换的数量受到限制,显然这不是一条有效的途径。

网络化的计算机系统是利用一些物理设备(如电缆、网卡)和网络软件,将位于不同地理位置的计算机设备联接在一起,各设备之间可直接利用网络进行数据交换。这种信息交换的速率可达每秒几十兆字节、传输距离可达几十公里,而数据以电子邮件的形式传输,具有速度快、数量大和安全、可靠的特点。这样,利用计算机网络系统,每个产品开发人员无须走出自己的办公室,就能和所有其他人员交换信息,共享数据资源和外设资源。因此,分布式的网络化计算机系统是 MCAE 方法实施的物质基础。

由于 MCAE 以实体模型为基础、以模拟为推动,实体模型的数据量比平面图形要大得多,复杂的分析模拟又要求很高的速度和很大的空间,这些特点对计算机硬件性能提出了较高的

要求。工作站(Workstation)在速度、内存、磁盘空间等方面具有和中、小型机相比拟的性能参数,而价格、体积却远远小于后者,并且图形显示器分辨率高,具有图形加速功能,因此特别适合于MCAE的特点。目前MCAE系统大多在工作站网络系统上运行,图1-5为一种运行在总线结构工作站网络平台上的MCAE系统。

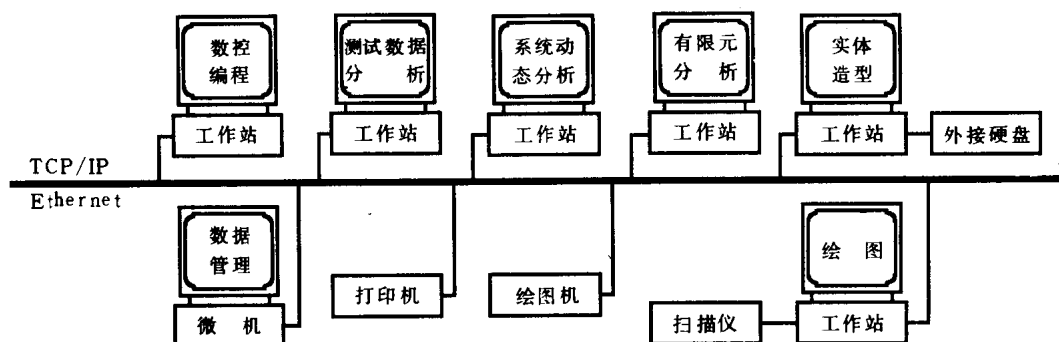


图1-5 运行在网络平台上的MCAE系统

三、MCAE的发展

近十几年来,随着计算机硬件技术、软件技术、数据库技术以及设计方法的发展,MCAE技术也得到了很大的发展,主要表现在功能、使用性能、数据结构、开放性等方面,这些也是MCAE进一步发展的方向。

1. 功能方面

MCAE系统是一个通用的机械设计自动化系统,为了适应各种类型、各种复杂程度产品的开发需要,MCAE系统的功能一直在不断地进行加强和完善,主要表现在以下几个方面。

(1) 造型功能 建立零件的几何模型是产品开发最基本的要求,造型功能强弱和造型速度快慢直接影响MCAE方法能否实施和产品开发进度。因此,MCAE系统的开发厂商在提高系统造型能力和速度方面做了较多的工作。如三维复杂曲面的造型技术、拟合曲面的选择及不同曲面的拼接技术、特征造型技术和参数化或变量化设计技术等都有了较大的发展。

(2) 自动网格划分功能 自动网格划分是提高有限元建模速度、减轻人的劳动强度的关键,因此进行网格自动划分,提高分网速度和网格质量是MCAE不断发展的方向。

(3) 图形编程技术 真正利用图形信息高效地进行数控编程,特别是多轴数控加工的编程及后处理技术,实现CAD与CAM的完美集成。

(4) 增加适应一些特殊应用的功能 如非线性有限元分析、非线性系统的动力分析、注射成型分析、复合材料的有限元分析及钣金件设计、模具设计等等。

2. 使用性能方面

MCAE系统是一个十分庞大的软件系统,掌握和正确使用系统并不是件容易的事,这在一定程度上也阻碍了MCAE方法的推广和应用。因此怎样使开发人员易于掌握和方便使用MCAE系统,是MCAE始终坚持的一个重要发展方向。

(1) 采用友好和智能的用户界面 目前MCAE系统正在逐渐大量使用图形用户界面,如I-deas Master Series全面采用图形菜单(Icon)代替原有的下拉式菜单,这种菜单能清楚直观地反映菜单表示的命令含义,且能节省屏幕空间。SDRC公司于90年代初在其产品I-deas V.1.1版

的绘图模块中率先推出动态引导器(Dynamic Navigator)技术,并将这种技术推广到 I-deas Master Series 的其它模块。这种动态引导器具有一定的智能特征,它能捕捉人的设计意图而自动反馈相关信息,如绘制几何元素时自动显示中点、端点、交点等特殊位置,标注尺寸时显示要标注的元素和尺寸类型,选择目标时自动增亮将被选择的对象等等。动态引导器技术大大提高了人机交互速度。

(2) 提供专家知识的支持 在 MCAE 系统中嵌入基于专家知识的智能模块,可以帮助设计人员进行一些复杂的操作过程。如进行复杂结构的有限元建模时,智能模块帮助您如何简化结构、选择网格类型、施加边界条件和显示结果。进行图形编程时,可以帮助设计正确的工艺流程、选择合适的工艺参数等。

(3) 多种造型手段并存 在 I-deas Master Series 之前的版本中,三维造型和二维绘图分别在不同的任务内完成,二维图形只能通过文件方式传输到三维造型模块进行各种扫描变换,这就涉及文件的读写和各模块的转换。而在 I-deas Master Series 中,可直接在三维模型空间中的任意二维平面内绘制平面图形,并可立即进行拉伸、旋转等变换,因此大大提高了三维造型的速度。

(4) 提供充分的在线求助信息 如果设计人员不清楚某条命令的含义或如何处理出现的错误,便可通过求助信息获取对命令功能、使用方法的解释和错误解决的方法。

3. 数据结构方面

合理的数据结构是支持 MCAE 方法得以工程实现的关键技术,数据结构的发展主要体现在以下两个方面:

(1) 统一各个模块的数据结构 统一的数据结构是各个模块之间真正实现集成的关键。在较早的 MCAE 系统中,由于各种模块分别沿用各自的数据结构,或其中有的模块是由其他厂商的软件集成过来的,因此各自的数据结构不完全一样。模块之间的集成只能通过软件接口或标准文件来实现,这种方式不能使模块之间实现自由的、双向的和快速的信息交换,因而限制了系统的使用效率和应用。

SDRC 公司于 1993 年初在公布的 I-deas Master Series 产品中首先推出“主模型”(Master Model)技术,使 MCAE 技术发生了变革性的发展。所谓“主模型”就是一个几乎包括产品任何方面信息的核心数据库,在多应用的工程环境中,主模型专门为授权的用户和所有应用模块提供数据资源。由于所有应用模块所需要的数据和所产生的数据均来自和存于主模型,那么各模块的数据由于具有统一的数据格式而能被其它模块所接受,从而使各模块通过主模型实现完美的集成。

(2) 降低数据冗余度 由于实体模型的数据量远远大于平面图形,一个产品又包括数十、数百个零件,其完整的零件模型往往需要上百兆字节的存储空间。因此,如何紧凑、有效地存储数据,也是 MCAE 技术的一个发展目标。

4. 开放性能方面

由于 MCAE 系统是一个通用的软件系统,而不是针对某类具体产品的专用软件。在一些具体的应用中,企业往往需要根据自己的产品特点开发特殊的设计环境,因此要求 MCAE 系统应具有较大的开放性。在 MCAE 的发展过程中,各软件开发商已采用多种途径来提高系统的开放性,具体方式有:

(1) 界面开放 允许用户将自己的执行程序用系统的菜单格式表示,当运行这些程序时

就可和使用内部命令一样直接点取菜单即可。

(2) 数据双向开放 MCAE 系统提供一些标准的子程序,通过这些子程序其它应用程序可以直接访问系统的数据(如刀位轨迹数据)。相反,其它应用程序产生的结果(如有限元分析结果)也可传送到系统中作进一步处理(如有限元后处理)。

(3) 提供专用的联接程序 专用联接程序可以将其它应用程序直接与 MCAE 系统联接,使其成为系统的一个应用模块。

(4) 支持多种标准接口 目前世界上已制定了多种用于图形数据交换的标准或规范,如 IGES、PDES、SET 等。这些标准规定了图形数据存储的标准格式,如果各个 CAE 系统都能生成按这些格式存储的文件,那么这些文件的数据就能被其它系统读入,从而实现数据的交换。

(5) 提供专用的开发语言 开发语言是 MCAE 系统的专用语言,它具有特殊的语法和语句格式。除具备一般语言所具有的功能(如判断、转向、赋值、函数计算、数组定义)外,它还能直接引用系统的各种命令,因此语言功能十分强大,能为设计人员提供一个强大的开发工具。这种语言编写的程序可用各种文本编辑器(如 Vi)进行编辑,且无须进行编译处理,可由系统直接调用执行。

第二节 MCAE 的组成及其功能

MCAE 系统是一种综合性的产品开发软件系统,它以统一数据库为核心,将设计、分析、测试和数控编程等多种功能集于一体,并具有数据库管理系统和多种应用接口,为产品开发提供良好的、有效的并行工程开发环境。MCAE 系统的基本组成和功能如图 1-6 所示。它一般包括以下几个主要模块(或子系统)。

一、实体造型模块

MCAE 用实体模型描述零件的形状特征,因此实体造型是 MCAE 系统最基本的功能,造型功能的强弱和造型的效率直接影响产品开发的速度。实体造型模块的主要功能有:

1. 实体造型功能 建立零件的三维实体模型。常见造型方法有体素造型、扫描变换、构造实体等。

2. 曲面造型功能 建立三维曲面的表面模型。常见方法是根据离散的点、曲线拟合成曲面,目前广泛使用的拟合曲面是非均匀有理 B 样条曲面 NURBS。

3. 特征造型功能 建立零件的特征模型,并由特征生成具体的三维形体。

4. 运算功能 对形体进行交、差、并等布尔运算及平面切割、倒圆、倒角等操作。

5. 编辑功能 对已有形体的尺寸、属性等进行编辑修改。

6. 定位功能 在模型空间内对形体进行平移、旋转等定位操作。

7. 显示功能 以不同的方式在屏幕上显示形体,控制形体的显示内容(中心线、中心点、尺寸、标号等)及屏蔽形体显示等。常见的显示方式有离散的线图显示、消隐显示、精确的线框消隐显示和浓淡图象显示。

8. 观察功能 从不同的位置、沿不同的方向观察实体。

9. 计算测量功能 计算实体表面积、体积、重量、重心位置、转动惯量和惯性主轴等物理特性,测量两点间的距离、两条线之间的夹角等。

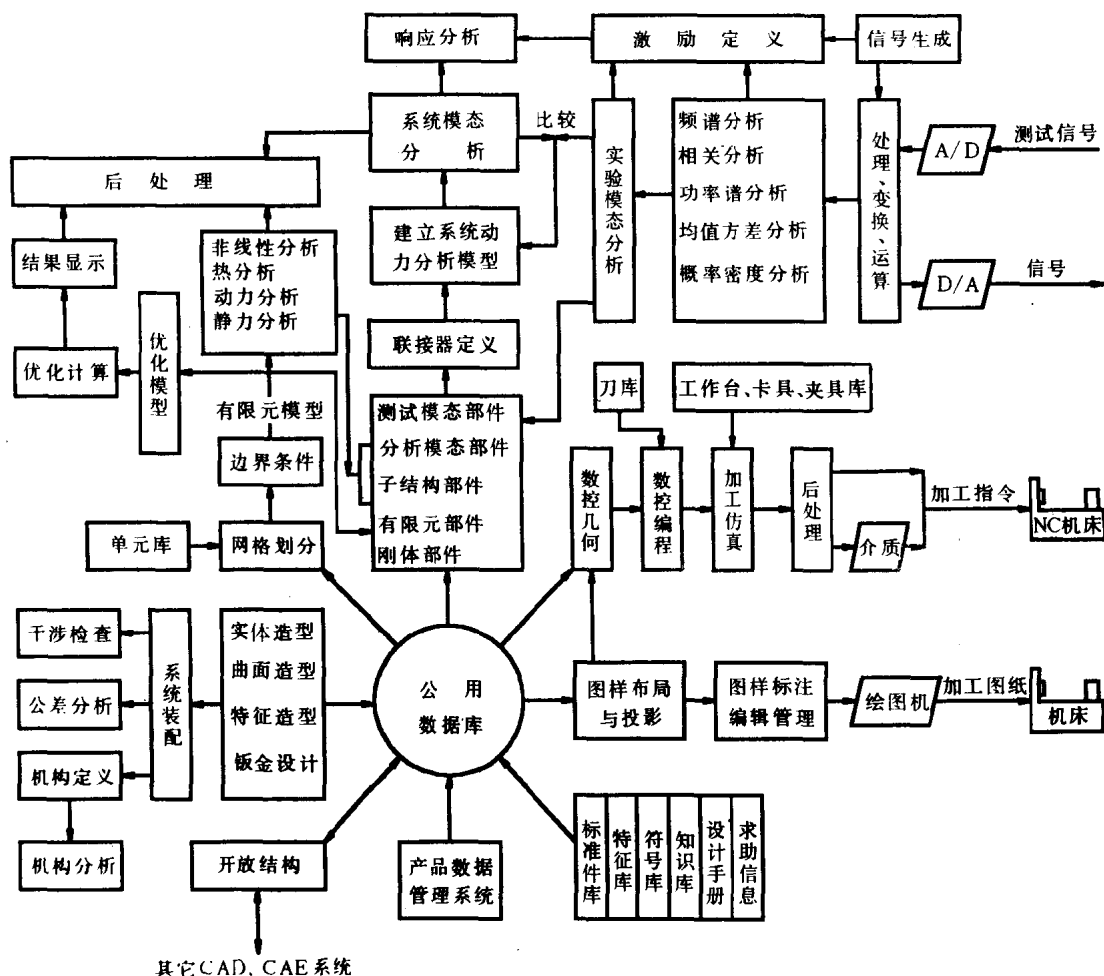


图 1-6 MCAE 系统的组成

10. 装配功能 将单一的实体装配成系统,完成系统干涉检查及物理特性计算,在系统的基础上完成公差分析和机构分析模型的定义。

11. 投影功能 选择图幅大小、比例、投影角度及视图数量和类型,将零件或系统的三维模型向规定平面内投影,生成零件、产品(或部件)的平面加工图或装配图。

12. 管理功能 对形体或系统进行存取、拷贝、删除、更名等管理操作,进行文件的读写等。

二、有限元分析模块

有限元分析方法是目前机械结构强度、刚度、热特性及动力特性分析计算最常用、最有效的方法之一。它不仅能处理具有复杂结构形状、边界条件和材料特性的线性问题、静力学问题,还能处理非线性、动态等其它复杂问题。因此有限元分析模块是 MCAE 系统最基本、最重要的模块之一,它具有以下三个主要功能:

1. 前处理功能

有限元分析前处理是指建立结构的有限元分析模型。前处理的快慢直接影响整个有限元分析过程的速度,因此前处理功能的强弱很大程度上反映了整个模块的功能。前处理包括以下