

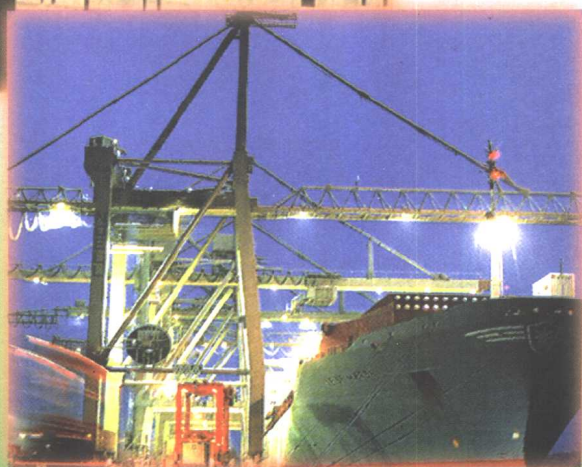
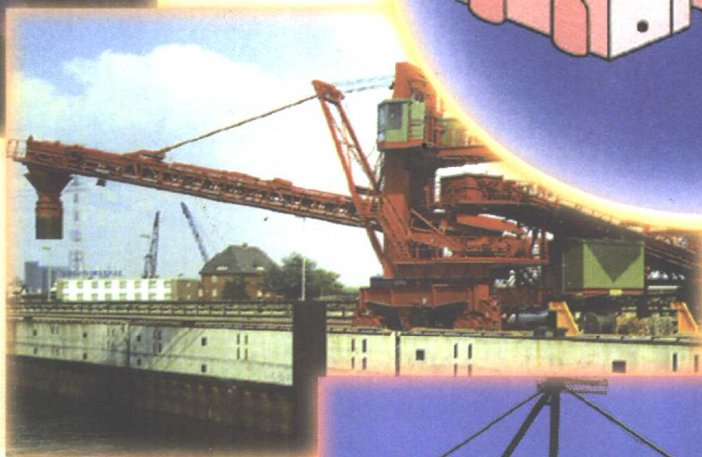
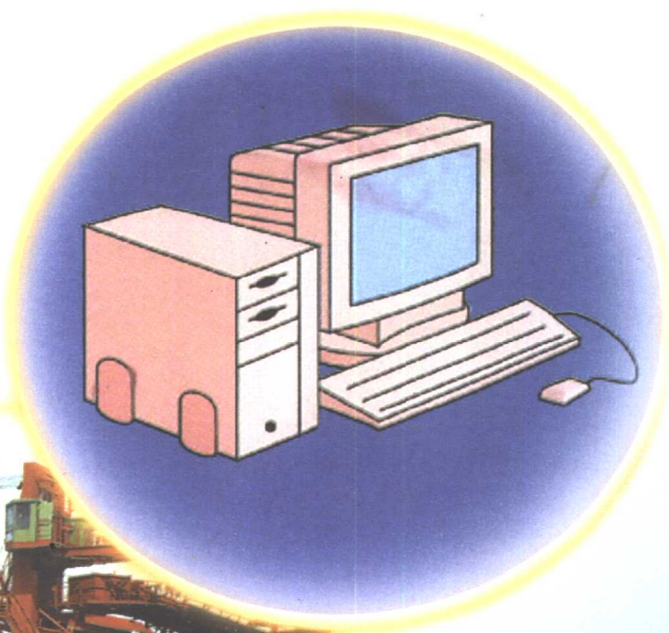
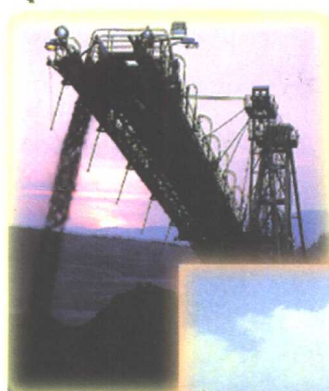
高等学校试用教材

# 港口机械 CAD

(机械设计及其自动化专业用)

王少梅 主编

过玉卿 主审



人民交通出版社

高等学校试用教材

# 港口机械 CAD

Gangkou Jixie CAD

(机械设计及自动化专业用)

王少梅 主编

过玉卿 主审

人民交通出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

港口机械 CAD/王少梅主编.-北京:人民交通出版社,1998

高等学校试用教材

ISBN 7-114-02911-X

I. 港… II. 王… III. 港口机械-计算机辅助设计-高等学校-教材 IV. U653

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 04126 号

高等学校试用教材

**港口机械 CAD**

(机械设计及自动化专业用)

王少梅 主编

过玉卿 主审

责任印制:张 凯 版式设计:崔凤莲 责任校对:王静红

人民交通出版社出版

(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

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:787×1092  $\frac{1}{16}$  印张:13.25 字数:339 千

1998 年 8 月 第 1 版

1998 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—2500 册 定价:17.00 元

ISBN 7-114-02911-X

U · 02078

# 前 言

计算机辅助设计 (CAD) 作为一项新技术已在港口机械设计领域得到应用并逐步普及。CAD 技术的应用, 提高了港机产品的设计质量, 缩短了设计周期, 降低了产品成本, 为企业和社会带来效益。推广和发展 CAD 技术, 对加速我国港口机械事业的发展, 增强企业的市场竞争力有着重大的现实意义。

本书包括两大部分内容: 第一章至第六章介绍了 CAD 技术的基础知识, 包括 CAD 的概念和特点、港口机械 CAD 技术的现状和发展、CAD 系统的软硬件配置、计算机绘图方法、工程设计问题的 CAD 化、CAD 系统数据库等; 第七章至第十二章的内容是如何应用 CAD 技术解决港口机械设计的实际问题。全书结合港口机械的特点, 以如何开发和维护港口机械 CAD 系统为主线来展开, 结合 CAD 系统的开发, 把理论和应用紧密结合起来, 并附有软件开发实例及用 C 语言编写的应用程序, 反映了作者们多年来从事港口机械 CAD 研究的成果。

全书共分十二章, 由王少梅 (第一、二、四、五、十二章)、王红 (第七、九章)、黄崇斌 (第八、十一章)、李和平 (第三章)、陈天祥 (第六章)、吴镇、孙国正 (第十章) 等编写, 蔡鹏、张予川参加了第五章第三节的编写工作。全书由王少梅主编, 武汉冶金科技大学过玉卿教授主审, 提出了许多宝贵的修改意见。本书的出版也得到了武汉交通科技大学港口机械 CAD/CAE 研究中心何发智、彭文等同学的支持, 在此一并表示衷心的感谢。

CAD 是一门发展相当迅速的应用技术, 加上作者水平所限, 书中错误及不妥之处在所难免, 恳请读者提出宝贵意见。

一九九七年七月

# 目 录

<b>第一章 计算机辅助设计概述</b> .....	1
第一节 CAD 的概念和特点 .....	1
第二节 港机产品的设计过程及 CAD 系统功能 .....	2
第三节 CAD 技术的发展过程及发展趋势 .....	4
第四节 CAD 技术在港机设计中的应用 .....	7
思考题 .....	11
<b>第二章 CAD 系统的硬件和软件</b> .....	12
第一节 CAD 系统硬件 .....	12
第二节 CAD 系统软件 .....	15
第三节 CAD 系统配置 .....	19
思考题 .....	21
<b>第三章 计算机图形学及工程图的绘制</b> .....	22
第一节 二维图形的基本变换及剪裁 .....	22
第二节 三维图形变换及几何造型 .....	27
第三节 Auto CAD 绘图软件包及二次开发方法 .....	31
第四节 港口机械 CAD 绘图接口软件包 .....	33
第五节 利用 ADS 开发 Auto CAD 参数化图形 .....	37
思考题 .....	46
<b>第四章 机械设计计算机软件的开发技术</b> .....	47
第一节 计算公式的程序化 .....	47
第二节 数表的计算机处理方法 .....	48
第三节 线图的计算机处理方法 .....	53
第四节 计算机仿真 .....	59
第五节 人机界面设计 .....	66
思考题 .....	69
<b>第五章 CAD 系统数据库</b> .....	70
第一节 数据库的基本概念 .....	70
第二节 工程数据库及特点 .....	72
第三节 数据库管理系统 FoxPro 的功能及应用 .....	74
思考题 .....	82
<b>第六章 CAD 系统的开发和维护</b> .....	83
第一节 CAD 系统软件的生存周期 .....	83
第二节 软件需求分析 .....	85
第三节 软件设计方法 .....	89

第四节 软件测试和维护 .....	97
思考题 .....	103
<b>第七章 起重机总体设计 CAD .....</b>	<b>104</b>
第一节 起重机总体设计的 CAD 流程 .....	104
第二节 门座起重机总体计算 CAD 的数学模型 .....	107
第三节 门座起重机总体计算 CAD 软件设计 .....	111
思考题 .....	123
<b>第八章 港口起重机起升机构 CAD .....</b>	<b>124</b>
第一节 起升机构的设计特点及流程 .....	124
第二节 机构标准零部件选型程序设计 .....	126
第三节 起升机构装配图 CAD 程序开发 .....	132
思考题 .....	136
<b>第九章 运行机构零件 CAD 程序设计 .....</b>	<b>137</b>
第一节 运行机构设计特点及 CAD 流程 .....	137
第二节 零件设计计算的模型及程序设计 .....	139
第三节 机械零件绘图程序设计 .....	149
思考题 .....	157
<b>第十章 变幅机构 CAD 与优化设计 .....</b>	<b>158</b>
第一节 变幅机构 CAD 与优化设计应用 .....	158
第二节 基于实例库的优化设计初始方案的形成 .....	159
第三节 四连杆变幅机构水平位移系统的优化设计 .....	163
第四节 臂架自重平衡系统的优化设计 .....	170
思考题 .....	179
<b>第十一章 有限元法及其在港机结构设计中的应用 .....</b>	<b>180</b>
第一节 结构分析的有限元模型化处理 .....	182
第二节 计算模型离散化 .....	186
第三节 整体分析求解 .....	187
第四节 结构有限元动力分析 .....	189
思考题 .....	192
<b>第十二章 智能 CAD .....</b>	<b>193</b>
第一节 智能 CAD 与专家系统 .....	193
第二节 专家系统结构及关键技术 .....	194
第三节 起重机臂架疲劳设计专家系统实例 .....	197
思考题 .....	202
<b>主要参考文献 .....</b>	<b>203</b>

# 第一章 计算机辅助设计概述

## 第一节 CAD 的概念和特点

### 一、CAD 的基本概念

计算机辅助设计——CAD (Computer Aided Design) 是技术人员以计算机系统为工具, 对产品进行分析计算、绘图、编写技术文档等设计活动的总称。计算机系统由计算机硬件和软件所组成, 设计人员在计算机系统支持下, 根据用户对产品的设计要求, 进行分析计算及绘图, 并利用人一机交互的方式, 对设计过程进行控制, 设计结果以图纸及技术文档的形式输出, 从而提高产品设计的质量和效率。

CAD 技术是近 30 多年来迅速发展起来的新兴技术。从本世纪 40 年代出现第一台计算机, 60 年代出现的交互式图象显示设备, 70 年代出现工作站和几何造型技术、数据库技术, 80 年代出现专家系统和机器人技术, CAD 经历了形成、发展、普及、提高和集成的各个阶段。现在 CAD 技术不但在工程技术领域, 而且在社会经济生活中的许多领域也得到应用。它改变了人们设计的常规方式, 提高了工效, 促进了企业的技术进步和行业的发展。CAD 技术在国民经济中的应用范围已成为衡量一个国家现代化水平的重要标志之一。

### 二、CAD 技术的特点

CAD 技术主要应用于机械、电子、航空航天、建筑等产品及工程设计计算有限元分析、优化设计、仿真、绘制工程图等环节。

CAD 是一门复杂的技术, 它的发展涉及到计算机科学、计算数学、现代设计方法、几何造型、计算机图形学、数据库理论、计算机仿真及人工智能等。同时, CAD 的应用还需要涉及到专门的产品设计和制造技术。因此, 具有高科技、知识密集、综合性及更新速度快的特点。使用 CAD 技术进行机械设计, 可把人、机有机地结合组成一体化的系统来完成设计工作, 在设计过程中, 人是主要因素, CAD 技术发挥人的创造性思维能力, 具有专业知识和设计经验, 能学习和归纳知识以及逻辑推理和判断、决策能力的特点, 与计算机的信息存储量大, 快速存入及检索, 运算速度快, 计算精度高, 强大的数值分析能力以及图形和文字处理能力, 不疲劳和不易出错的优点结合起来, 并通过人机交互方式。使用计算机系统辅助设计可快速、准确地完成产品的设计任务, 并具有如下的特点:

1. 利用 CAD 技术使设计功效提高 5~8 倍, 从而缩短产品的研制周期、加快产品更新换代的速度, 从而提高了在市场上的竞争力。
2. 通过优化设计及有限元分析等数值计算, 可节省原材料和能源消耗, 提高产品性能, 从而降低了成本。
3. 使用计算机仿真等手段减少试验费用, 提高产品设计的一次性成功率, 减少了设计及

制造过程的返工现象。

4. 用CAD技术进行设计,采用规范化的计算方法,选用标准化的零部件,并对技术文档统一管理,从而促进了企业的标准化和产品的系列化工作。

由于CAD技术的上述特点,各行业都在竞相发展和推广CAD技术,不断购置设备培训人员,并结合本行业产品的特点,研制实用的CAD应用软件系统,以满足企业提高设计及制造的生产率,提高产品质量及企业在市场上的竞争能力,促进国民经济快速发展的要求。

## 第二节 港机产品的设计过程及CAD系统功能

机械设计过程大致可分为两个阶段:方案设计及详细设计。在方案设计阶段,设计者根据用户对产品的功能要求,确定整机的主要性能参数、结构型式、主要机构的传动方案、结构件的所需几何尺寸,绘出总体方案图,提出方案设计说明书,经方案审查完后,确定选择的方案。在详细设计阶段,须进行详细的分析计算,以确定各零部件的详细结构,从而绘出全部装配图及零件工作图纸,整理出设计计算说明书及材料需求清单、标准件清单、机电产品目录等技术文档。图1-1表示了港口机械设计的一般过程,在设计过程的各个环节中如:设计资料和录入、查找、数值计算、图形绘制、材料清单、机电产品目录生成等均可借助CAD系统来完成。

总的来说,港口机械产品的设计过程是对大量的数据和信息进行分析和处理的过程。利用CAD技术可以辅助人们进行下述工作:

### 1. 设计中的数值计算

产品设计过程需要进行大量的数值计算。如:受力分析、强度、刚度、稳定性计算、运动学、动力学计算等。CAD系统运用相应的计算模型以及专用软件如:港口机械常规计算方法库、优化设计、有限元分析等软件,把最新的设计计算方法应用于产品设计中,可快速准确地完成数值计算的任务。

### 2. 图形显示及绘制

设计过程是一个反复修改并寻优的过程。CAD技术可以把设计的计算结果用三维立体图形显示于屏幕,并生成二维图形,从而供设计者分析、修改以及决策参考,设计结果通过绘图机自动地绘出生产用的工作图纸。

### 3. 动态仿真及预测产品的性能

通过建立部件的三维几何模型,根据运动部件的运动规律和所受的约束条件,对机械进行运动学及动力学仿真。例如对桥式抓斗卸船机进行运动学仿真模拟抓斗摆动卸料过程,得出作业循环时间、小车合适的制动位置等参数,并可动态地显示出整个作业循环过程。又如用于门座起重机设计中检查运动部件如:平衡梁、钢丝绳等与人字架发生干涉碰撞的可能性。这就是说通过计算机仿真可预估机械生产率及动态特性。

### 4. 设计信息的存储和管理

港机设计需要查询和引用专业的设计规范,通用机械零件设计标准和规范、材料力学性能、加工及热处理要求及机电产品目录等大量的信息、设计过程中所产生的数据及图形几何信息,也需要在相关的的计算模块中传递。CAD系统利用工程数据库对设计过程所需的全部计算数据、图形信息及设计过程产生的动态数据进行统一管理,并达到快速搜索、存取和传输的目的。



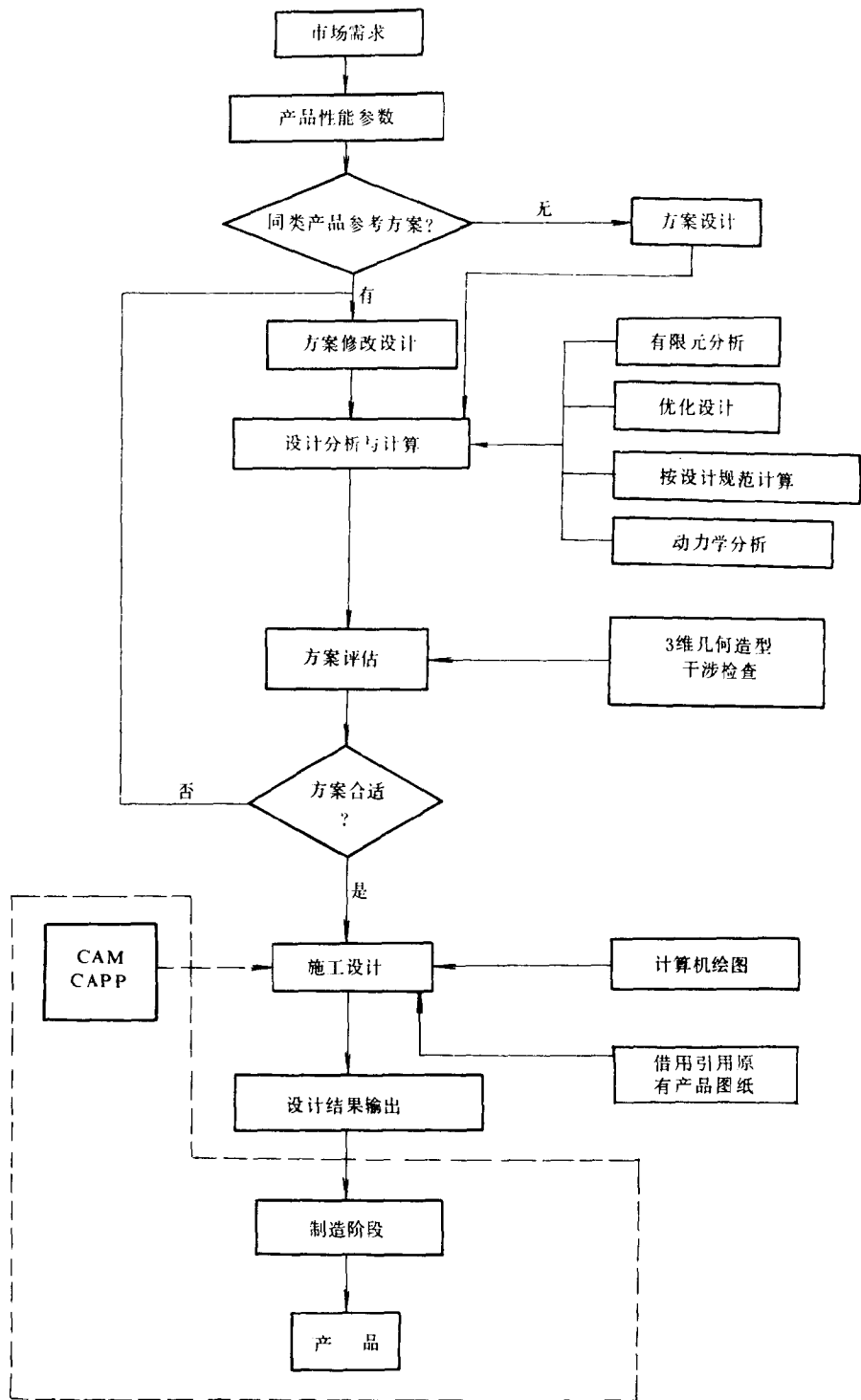


图 1-1 港机产品设计流程

### 5. 实现智能化设计

目前，人工智能的研究已逐步进入实用领域，专家系统的知识库及实例库，可把港机领域专家丰富的设计经验及已有产品的性能参数、图样归纳整理成为可检索的知识，并提供逻辑

辑判断及推理能力，生成各种新的方案供设计者参考，使一般的设计人员可以设计出高水平的产品。如：门座起重机四连杆水平位移变幅组合臂架系统优化设计中，初始点的选择是很关键的一步，利用专家系统给出初始点位置即大拉杆铰点距臂架铰点的水平和垂直方向的距离，可保证优化设计的成功率，提高收敛速度，加快优化进程。

综上所述，一个较完善的机械产品的 CAD 系统是由人和计算机系统组成的。它应包括产品设计计算程序库、交互式绘图系统及工程数据库等基本部分，即：

(1) 有具备人一机会话能力的交互图形系统，即必需的硬软件设备，从而提供二维及三维图形显示及绘图功能。

(2) 具有完备的工程数据库和数据库管理系统。

(3) 有相应的分析、计算软件，能完成数值计算、有限元分析及优化设计的功能。

(4) 有常用的标准零部件及专用零部件的图形库，便于实现工程图的绘制和复杂装配图的拼装。

(5) 文字处理软件，能完成技术文档的建立，修改和管理。

### 第三节 CAD 技术的发展过程及发展趋势

#### 一、CAD 技术的发展过程

CAD 技术的兴起和发展与计算机及外部设备如图形输入输出设备的发展是密切相关的。40 年代第一台电子计算机在美国诞生，为 CAD 技术发展打下了基础。50 年代初，美国麻省理工学院的机构实验室研制出第一台计算机自动控制的铣床，促进了自动编程方法的发展。1956 年，阴极射线管 (CRT) 的出现，使显示技术得到发展。但当时计算机显示技术的理论还没有形成，因此显示器还只能显示字符，计算机主要用来进行科学计算。50 年代末期，平板绘图机和滚筒式绘图机相继在美国问世，开始了用计算机辅助绘图的历史。光笔的出现又使操作者可从显示器屏幕中拾取所需的信息，使人机交互式绘图成为可能。60 年代初，美国麻省理工学院的 I. E Sutherland 发表了《SKETCHPAD—人机对话系统》的博士论文，文中所提出的在显示器屏幕菜单中指点选择、光笔定位、画直线或圆、图形放大、旋转等动态修改的交互功能。在用 TX2 计算机研制的 SKETCHPAD 系统中得到实现，该系统还采用了分层存储符号和图形的数据结构，使一幅较复杂的图形可以用分层调用相应的子图来产生。该论文及系统的提出，为交互式图形生成技术发展奠定了基础。交互式图形生成技术以及关于消除隐藏线及隐藏面的算法、有限元分析工具等 CAD 理论研究成果的出现，促进了 CAD 技术的迅速发展。

60 年代中期到 70 年代初，出现了一些实用的 CAD 系统。如：美国通用汽车公司研制的 DAC—1 系统，可用于汽车车身结构及外形设计，贝尔电话实验室推出了 GRAPHIC—1 系统，可用于印刷电路的几何布局、电路或框图的方案设计中。洛克希德飞机公司则推出了功能较全的 CAD 系统—CADAM，使 CAD 系统研制开始进入早期的应用阶段。但此时的 CAD 系统规模大，价格贵，一般只能在大型企业或大学的科研机构才有条件研制和使用。70 年代 CAD 技术开始走向成熟发展阶段，随着 CAD 系统硬件及软件的发展。以 32 位小型机和超级微型计算机为基础的 CAD 系统逐步进入市场。计算机系统性能价格比的提高，使 CAD 技术迅速得到推广应用。出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统，如：美国的 CV、Inter-

graph、Calma、Applicon 等公司研制的小型机成套系统，除提供整套硬件外，还配有相应的 CAD 软件系统，称为“交钥匙”系统 (Turnkey System)。与以大型通用计算机为基础的 CAD 系统相比，由于价格便宜，使用维护较简单而被广大用户所采用，促使 CAD 技术在机械、电子、建筑等行业得到广泛的应用。到 1979 年末，美国已有 CAD 系统 12000 套，其中机械工业占 40%。1981 年，日本已有 CAD 系统 600 套，其中机械工业占 49%。

进入 80 年代后，由于 32 位超级微机的工程工作站系统运算速度已大大超过了过去的大、中型机，且随着网络技术的发展，工作站系统可通过网络通信形成集成化的 CAD 系统环境。因此，工程工作站系统已成为 CAD 系统的主流设备，同时建立在个人计算机基础上的微型计算机系统由于其性能价格化的提高及易学易用的优点，在中小型企业中得到广泛的应用，使 CAD 技术在普及和应用上取得突飞猛进的发展。在软件方面，由于数据库技术及通用数据库管理系统的发展，出现了专用的 CAD 数据库及管理系统，为 CAD 与 CAM 结合打下了基础。为解决 CAD 系统之间图形信息数据之间的交换，国际上推出了 GKS、IGES 等图形标准和图形信息交换规范。同时，CAD 技术的发展在发达国家已形成推动各行业技术进步，创造经济效益的产业部门——软件产业。大量成熟的商品化软件的出现，又在不同程度上促进了 CAD 技术的普及和应用，使 CAD 由过去的只是科研项目逐渐变成在经济上有吸引力的发展生产的工具。

## 二、CAD 技术的发展趋势

CAD 是一门综合性的复杂技术，CAD 技术的发展涉及到计算机科学、计算数学、现代设计方法、计算机图形学、数据库理论、人工智能及计算机仿真等多门学科，同时，CAD 的应用还要涉及到专门的工程领域中的设计制造的理论 and 实践经验。目前，随着科技的进步和生产的发展，CAD 的研究和发展趋势是集成化、智能化、可视化、标准化、多媒体及仿真技术的应用，人机界面的研究等。

### 1. 科学计算可视化、动态仿真及 VR 技术

计算技术的不断进步，使越来越复杂的科学现象可以通过科学计算的途径来进行研究，从而也有大量的数据需要分析处理。80 年代末提出并发展起来的可视化技术把计算过程及计算结果的抽象的数据转变成几何图象或图形信息在屏幕中显示出来，用户可通过人机交互方式改变参数并观察变化，从而能主动地对分析计算过程进行引导和控制，使科学计算的面貌发生根本的转变。

科学计算可视化涉及的内容很多，如矢量场、温度场可视化、医学图象、气象数据、地质数据可视化等。在机械 CAD 领域中，机械优化设计应用可视化技术可显示寻优的过程及优化的结果，如门座起重机四连杆臂架系统的优化设计中象鼻梁端点的水平位差曲线，及货物引起的不平衡力矩曲线等优化设计的结果可在屏幕显示。有限元可视化使有限元分析结果数据可以用丰富多彩的色调图（云图）来生动地表示。目前著名的有限元分析程序如 ANSYS、NASTRAN 及集成化软件 I—DEAS 都提供了功能强大的后处理功能，可显示出构件的位移场、应力场的分布图形，并可用动画显示结构的振动问题。

科学计算可视化研究的主要内容有：三维数据场显示技术、大规模三维数据显示技术，如三维应力场及位移场的分布可视化算法，有限元分析模型的显示算法等。

动态仿真技术通过建立物体的几何模型和模拟其运动状态，设计人员对设计对象的工作性能或零件的加工过程在设计阶段便可得到了解，如机械零部件之间运动碰撞信息，动态响

应或加工过程中零件的应力,变形情况等,从而可预测产品的运行状态及性能或加工过程可能遇到的问题。动态仿真在港口机械 CAD 中已用于门座起重机臂架系统运动过程中部件的空间干涉,抓斗卸船机中抓斗在整个作业循环时间的工作状况等过程的模拟。机械系统动态仿真的研究方面有面向对象的多媒体仿真建模,多媒体仿真环境与实现等。

虚拟现实 VR (Virtual Reality) 利用多媒体技术通过计算机系统生成一个逼真的包括视觉、听觉和触觉在内的虚拟环境,用户可以通过键盘、数据手套、视听输入输出设备、力反馈设备及头盔式显示部件等多媒体设备与虚拟环境进行实时交互,实现对虚拟环境的控制。VR 技术在可视化及仿真领域已逐步得到应用,除建筑 CAD 外,VR 技术还应用于汽车模型设计,飞机驾驶员的培训工作等。虚拟现实的研究内容有真实感图形和虚拟环境的研制等。

## 2. 智能化 CAD

传统的 CAD 系统都是采用基于一定算法的技术,按既定的算法模型来进行的。为了使 CAD 系统能代替设计人员完成创造性思维工作,减少 CAD 过程中对人的依赖,智能化 CAD 在 70 年代中后期开始发展起来,它把人工智能与 CAD 技术结合起来,从而使 CAD 系统能进行创造性的设计工作。

人工智能是研究智能机器或智能系统以便模仿或扩展人的智能的学科。智能化 CAD 的研究方法有专家系统技术与 CAD 结合的设计方法,黑板控制结构设计法和基于实例推理的设计方法,约束满足设计法等。其中专家系统技术是智能化 CAD 中发展最早的一个分支,它是以某领域专家知识为基础利用计算机程序模拟专家的推理活动,以求得与人类专家解决该领域问题的相同的结论。专家系统的发展,使计算机的应用从数值计算和数值信息处理领域扩大到符号运算和推理的全新领域,使计算机不仅能处理用数值模型描述的知识,还可以处理用符号模型描述的知识,从而扩大了 CAD 的应用范围和处理问题的能力和水平。80 年代以来,在 CAD 系统中专家系统技术的进一步发展受到如“知识获取”的瓶颈问题的制约,因而又提出了基于实例推理的方法,用设计实例来表达知识,通过获取实例来进行学习,从而逐步排除知识获取的困难问题。

目前智能化 CAD 的研究包括面向对象的设计方法、基于神经网络的设计方法、模糊设计方法及应用研究等。

## 3. CAD 系统的集成化

随着生产和科技的发展,产品的 CAD 过程牵涉到多领域、多学科及整个产品的生产过程的信息,因而集成化已势在必行。CAD 系统的集成化牵涉到计算机辅助工艺设计 CAPP (Computer—Aided Process Planning) —产品设计过程中利用计算机辅助编制工艺计划、计算机辅助制造 CAM 等,CAD/CAM 系统的集成是 CAD/CAM 技术不断发展的结果,也是计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) 的基础。CIMS 把 CAD、CAE、CAM、CAQ (Computer Aided Quality Assurance 计算机辅助质量保证) 等多种技术有机地结合起来,使所有活动能共享信息,为未来工厂自动化生产提供了成功的模式。CIMS 的主要特征是集成化和智能化,集成化即系统体现了产品从市场信息、设计、制造、检验、销售及售后服务的全过程的信息加工及管理;智能化则反映企业从原材料到用户服务,在物流管理的过程中利用人工智能的手段代替人类专家的思维及决策过程。

作为 CIMS 的理论基础、方法论及运行环境,并行工程 CE (Concurrent Engineering) 的概念是 1986 年由美国国防研究所首先提出的,它是考虑产品的整个生命周期(用户需求、设

计、制造、维护到报废的全过程)的系统设计方法和过程,是随着CAD/CAM、计算机网络通信技术及多媒体技术等发展的产物。CE的研究为牵涉到多学科领域,众多人员参加的复杂产品开发及工程项目提供了并行的、一体化的系统工作模式及协同工作的环境,支持CIMS全过程的优化监控和管理问题。在CAD领域中,目前CE的研究有协同设计的支持环境如多媒体电子邮件、电子公告牌、会议管理系统等以及关于设计中冲突的发现和消解的建模和算法研究、面向产品智能并行设计的层次分析及决策方法研究等。为了实现CAD系统的集成化、工程数据库管理系统、三维实体建模及仿真、网络环境下的分布式智能技术、计算机支持的并行设计等都是目前研究的课题。

#### 4. 人机界面的研究

CAD系统由人及计算机硬、软件组成,采用人机交互的方式由系统辅助设计人员完成工作任务。随着CAD技术的普及,软件已形成一种产业,因此必须确立以用户为中心的思想,从人的生理、心理学特点出发,考虑用户对软件的需求来设计界面,使软件具有简单、美观、易学、易用的特点,提高软件的运行效率并减少出错的可能性,并实现界面设计的合理化和离散化,使界面与程序分离,提高软件的开发效率和可维护性。从60年代以来,人机界面已逐渐成为CAD技术研究的一个热点,尤其是80年代,随着软件工程学、计算机科学技术的发展,用户队伍的扩大,使人机界面及其开发工具已成为国际计算机界最活跃的研究方向之一。

人机界面设计的理论基础是用户认知心理学和人机工程学,要以人为中心考虑人机界面的设计包括屏幕结构、菜单配置及输入设备的方便性等。人机界面的研究涉及计算机技术、认知心理学、人机工程学、人工智能、多媒体技术、自然语言处理等。目前人机界面的研究方向有人机界面开发工具、界面对用户(个人或群体)的影响与界面设计、多媒体技术、智能化及虚拟现实在界面开发中的应用等。

#### 5. 32位超级微机工作站系统已发展成为机械CAD系统的主流设备

目前32位超级微机工作站组成的CAD/CAM系统由于优越的性能价格比及丰富的软件资源,较高的标准化程度已逐步取代了成套的小型机CAD系统成为企业CAD系统主流设备,同时由于具有良好的网络功能,可使用以太网(Ethernet)与微机组成集成化的CAD系统环境,达到资源共享、协同工作的效果。

随着微机性能价格比的提高,愈来愈多的CAD软件微机版本的出现,以及微机易于使用和维护的特点,为我国中小企业应用CAD技术创造了条件。目前在机械制造业中,微机CAD系统已成为中小企业应用CAD技术的主要环境。

### 第四节 CAD技术在港机设计中的应用

我国从70年代以来,在高等院校及科研单位开展了CAD技术的研究和软件开发工作。实际应用较早的部门是航空及造船工业。80年代初,我国开始引进国外成套的CAD系统,并以此为基础进行CAD系统的开发和推广应用工作,取到初步成果。在港机设计领域,开始应用微机代替人工设计,并开发了一些小型的实用软件。如:港机优化设计软件解决门机四连杆臂架系统尺寸优化或结构优化设计的问题。在第七个五年计划期间(1980~1985年),我国把CAD应用软件开发作为国家或工业部门的重点攻关项目。在机械行业中,以典型产品为

对象，研制适合我国国情的实用的产品设计型的 CAD 系统。在港机行业中，作为攻关项目，研制了固定式起重机 CAD 系统、门座式起重机 CAD 系统、集装箱装卸桥 CAD 系统等，这些系统已成功用于港口机械的设计中，大大提高了设计工效，且由于软件中应用了优化设计，有限元分析等现代设计方法，实现了设计计算、自动绘图、文档生成等一体化的功能，从而提高了设计水平和设计质量，缩短了设计周期，为企业获得了明显的经济效益，同时也培养了一批 CAD 的技术人材，为“八五”期间 CAD 技术在行业中的推广工作打下了基础。目前，CAD 技术在港口机械的设计单位或制造厂已得到不同程度的应用和普及，他们使用自主研发或与高等院校、科研机构合作开发的各种应用软件解决设计计算、有限元分析建模、自动绘图等问题。同时，从国外引进的图形支撑软件或有限元分析软件。如：AutoCAD、IDEAS、ANSYS、SUPSAP 等在港机设计中也得到较广泛的应用。在 CAD 技术基础较好的上海港口机械制造厂，已计划在 CAD 技术普及的基础上，把 CAD 技术逐步与 CAPP、CAM 等结合起来，向 CIM—计算机集成制造方面发展，使生产和管理早日实现自动化、网络化、智能化和集成化。

下面介绍两个实用的港机 CAD 系统

### 一、门座起重机 CAD 系统 (MJCAD 系统)

MJCAD 是由武汉交通科技大学与上海港口机械厂合作研制的产品设计型的 CAD 系统。该系统从 1993 年以来已成功用于起重量为 5t 到 50t 的各种幅度的门机产品设计中。

#### 1. 系统的结构和功能

MJCAD 系统的总体结构及集成框图，如图 1-2 所示。系统由总体设计计算，总体方案图

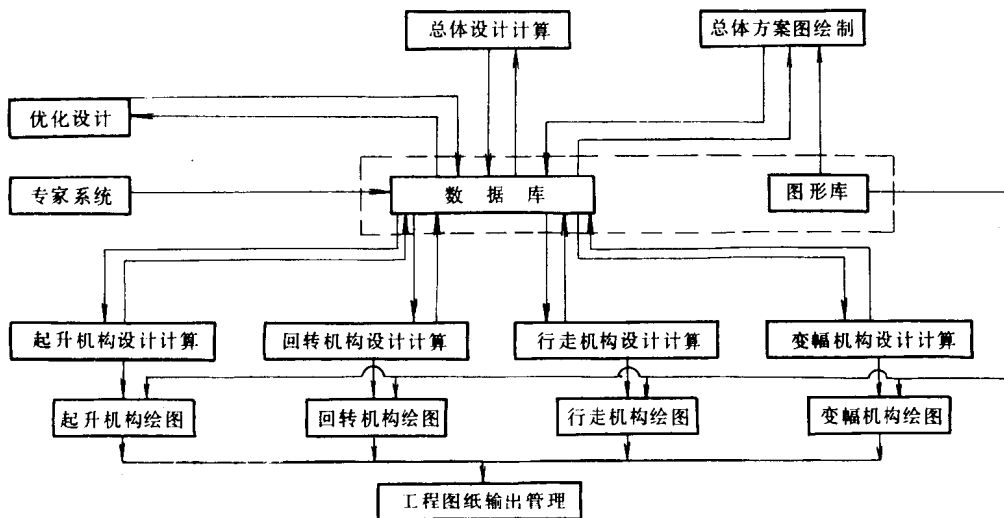


图 1-2 MJCAD 系统总体结构及设计流程

绘制、起升、回转、变幅、行走等四大机构的设计计算以及绘图，优化设计和专家系统等 12 个子系统构成。利用此系统可由计算机辅助完成门座起重机总体设计计算，总体方案图的绘制、刚性四连杆及单臂架变幅水平位移系统和臂架平衡系统的尺寸优化设计，四大机构的全部设计计算工作以及 90% 以上的装配图和零件图的绘制工作，图纸可直接用于生产，制造过

程所需的材料清单、标准件清单、图纸目录等均可由计算机辅助生成。

为使系统能对设计过程进行控制，实现数据输入输出、设计计算、图纸绘制和技术文档自动生成的一体化功能，MJCAD 系统以数据库为核心，实现了专用数据库、图形库和分析计算程序的三库一体，由数据库提供数据检索、存取等服务，并将门机设计的初始参数、设计过程产生的中间数据或结果数据存入数据库。当设计人员设计一台门机新产品时，可根据用户要求的几个主要性能参数如起重量、起升高度、幅度等等，从数据中查询已有的门机产品资料，通过类比、修改，形成一组新的输入参数，便可进行总体及各机构的设计计算，利用分析计算程序对各类零部件进行设计或选型计算，产生的数据传给绘图模块，并调用图形库相应的图块进行拼装，从而完成工作图的绘制。总图的绘制可从两条路径实现：一是在各个机构装配图完成后进行拼装，加上人机交互方式完成；另一方面可在总体及各机构设计计算后，利用人机交互方式，调用图形库的各种图块来拼装而成。后一种方式适于方案设计阶段总体方案图的绘制。

## 2. 系统的环境

硬件：386 或其兼容机

支持 Auto CAD 10.0 版本各类显示器，绘图机

软件：DOS 3.0 操作系统

FORTRAN 5.0 及 Turbo C 为主工作语言

FOXBASE 关系数据库管理系统

## 3. 系统的特点

1) 良好的通用性和易扩充性：系统有较完善的数据库和图形库，数据库包含了门座起重机设计所需的设计规范，设计和制造过程中涉及到的零部件及主要配件的国标、部标及有关生产厂家的标准，起重机专用的非标准零部件如滑轮、电缆卷筒等的性能参数、安装尺寸、重量等数据，以及常用的公差配合和标注的标准、图形库对门座起重机常用的减速器、电动机、制动器等标准零部件的各个视图进行管理，对于螺栓螺母、轴承等标准图形，采用动态生成图形的方法处理，即只要读入标准件的特征参数，便可生成相应图形。由于使用数据库管理系统实现了对图形和非图形文件的调用、存储、查询等功能，使设计计算与绘图数据共享，实现了多种设计方案的选择。各子系统也可单独运行，根据用户需要对系统数据库及图形库进行扩充，便可适用于其他类型的港口装卸机械如龙门起重机、装卸桥等的设计中。

2) 对支撑软件进行了二次开发，提高了编程效率和系统的可维护性，较好地解决了用户界面友好的问题。

首先在 Auto CAD 图形软件基础上开发了一系列功能接口，如常用的基本图形、汉字、标题栏、尺寸和序号标注，加工符号及粗糙度符号等，如 Fortran 语言和 C 语言与 Auto CAD 以及与数据库管理系统 Foxbase 之间的数据转换接口，简化了图形绘制程序的编写，也解决了整个设计过程信息传递的问题，为系统集成化打下基础。

在 FORTRAN 语言及 C 语言基础上研制了通用菜单接口，简化了菜单编程的工作。

工程图纸管理模块的开发：对在某产品设计过程中所产生的图纸能集中管理并自动生成分级的图形管理菜单，用户可从菜单获取全部图纸信息，并控制图纸的绘制输出。

3) 实现了一体化的辅助设计功能，实现了从原始参数输入、方案选择、设计计算、优化

设计、参数绘图、文档生成的一体化过程，从而使设计参数的正确传输得到保证。从总图、总装图和零件图的图号、数量、重量、材料、名称等均可由软件分配和协调，并自动编制出材料清单、标准件清单和图纸目录等。

## 二、门座起重机金属结构辅助设计系统（MJCAD 系统）

MJCAD 系统是由上海港口机械厂、华海新技术开发公司等单位联合开发的门座起重机金属结构件的计算机辅助设计系统，已成功地用于多台门机新产品开发工作。

### 1. 系统功能

- 1) 对门机金属结构如臂架、门架、人字架等以及整机金属结构部分的有限元建模、求解。
- 2) 构件强度、疲劳、稳定性计算。
- 3) 构件三维立体图构成、运动和干涉检查以及三维立体图投影生成二维图形。
- 4) 完成焊缝、尺寸标注、生成工作图以及外购件清单和材料表的生成。

### 2. 系统的支撑环境

硬件环境：VAX3100

DEC 工作站

通过 DECNET 网络相连

软件环境：操作系统：VMS, ULTRIX

网络：DECNET

有限元分析软件：I-DEAS

数据库管理系统：PEARL, ROB

### 3. 系统工作流程

MJCAD 系统工作流程简述于图 1-3 中。系统运行是由 VAX3100 上的 RDB 关系型数据库和 DEC 工作站上的 I-DEAS, PEARL 数据库支持的，其中系统运行的静态数据如规范、型材、标准件、紧固件、形位公差等由 RDB 管理而图形库及运行时产生的动态数据如整机和各分构件的初始输入参数、铰点受力和载荷工况、应力、位移数据等以及图形数据均由 DEC 工作站上的 I-DEAS 来管理。

初始参数输入数据包括方案设计中的整机布局和设计参数等设计依据信息。根据初参信息计算各铰点受力情况，结果作为轴承选型依据。有限元分析中的工况载荷自动生成。

分构件参数输入模块完成各分构件图形生成所需的主要尺寸。

以上工作在 VAX3100 机上完成，然后将数据经网络传至工作站，进行整机有限元分析并求解，求解结果再经强度、疲劳、稳定性分析后输出，如不满意可经人机交互方式进行修正，然后返回有限元分析计算模块。

生成整机结构图样的过程是首先生成分构件简化模型，再拼装成三维整机立体图，自动布置梯子平台，然后作运动干涉碰撞检查。当三维立体图通过检查后，再将三维图样投影生成二维的整机结构总图。

整机结构总图生成后，再进行分构件细化设计，生成详细的三维构件模型图，投影出二维施工图，自动生成材料明细表，最后完成施工图的绘制工作，打印出材料清单等技术文档。



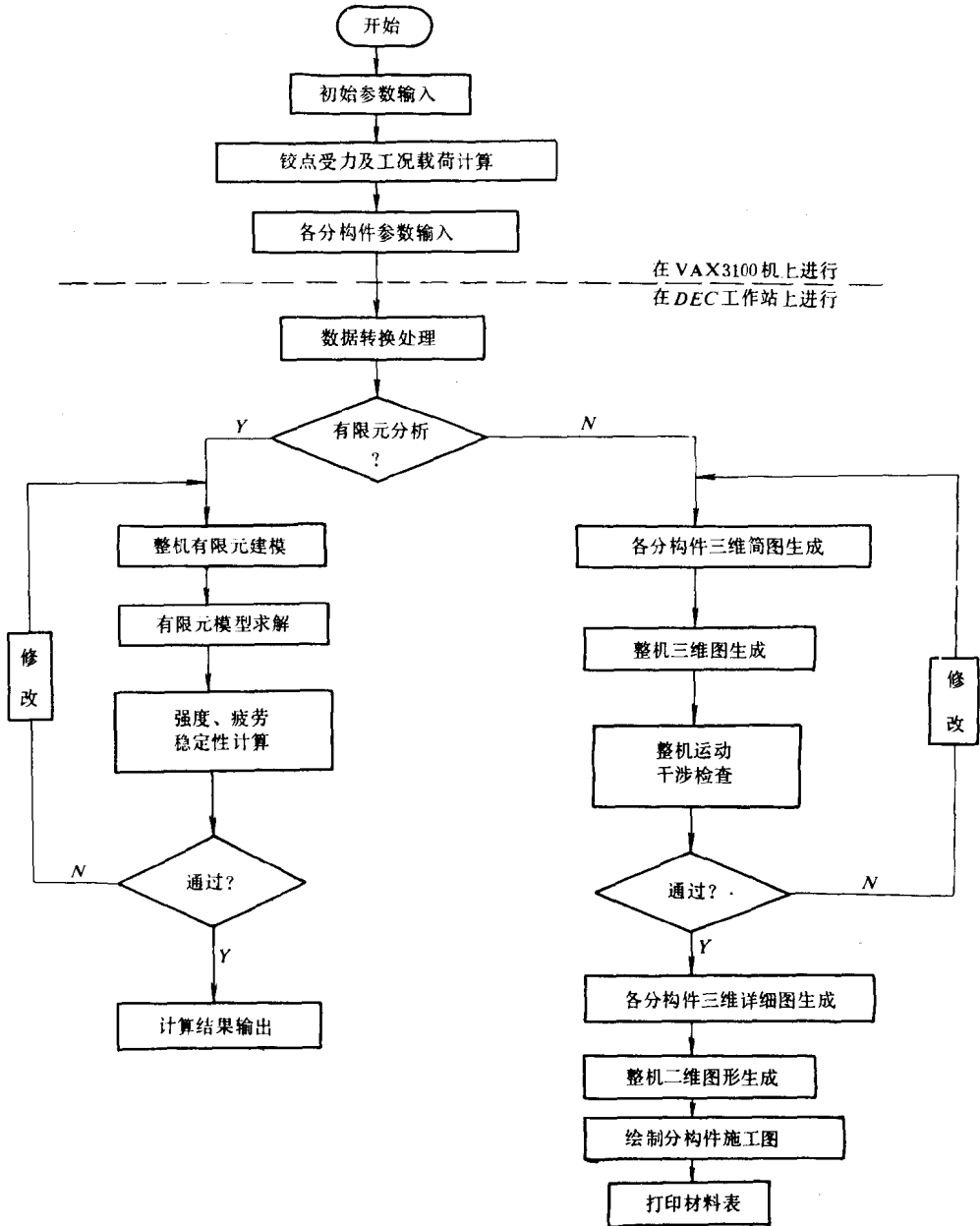


图 1-3 MJCAD 系统工作流程

### 思考题

1. 简述 CAD 技术的特点。
2. 以港口机械产品为例，说明其设计过程及 CAD 技术的应用。
3. 试述你所了解的港口机械 CAD 技术现状。
4. 如何应用 CAD 技术来提高产品的质量？
5. 简述你学习 CAD 技术的目的。