

于庆波 编著



加热炉

# 计算机辅助设计基础

JIARELU  
JISUANJI  
FUZHU SHIJI  
JICHU

冶金工业出版社

于文波 主编



# 加热炉

## 计算机辅助设计基础

清华大学出版社  
清华大学工程图学教研室  
机械工业出版社 机械工业出版社  
机械工业出版社

清华大学出版社

# 加热炉计算机辅助设计基础

于庆波 编著

---

北 京

冶金工业出版社

2003

## 内 容 提 要

本书针对加热炉设计工作的特点,提出了一个加热炉 CAD 系统的结构模型,指出了加热炉 CAD 系统所应包含的研究内容及方法。

全书分为三部分: CAD 的概念、组成及其发展, AutoCAD 软件的基本命令; 关于加热炉炉型选择专家系统的研究; 加热炉设计计算方法及最优加热数学模型的研究。

本书可供从事加热炉研究、设计、制造和运行的工程技术人员参考, 亦可供高等学校的本科生、研究生教学之用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

加热炉计算机辅助设计基础/于庆波编著. —北京:  
冶金工业出版社, 2003.4

ISBN 7-5024-3266-3

I. 加… II. 于… III. 冶金炉—预热器—计算机  
辅助设计 IV.TF066.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 030783 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 宋良 美术编辑 李心 责任校对 刘倩 责任印制 李玉山

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2003 年 4 月第 1 版; 2003 年 4 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 5.375 印张; 146 千字; 163 页; 1-1500 册  
16.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

# 前 言

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是 20 世纪 60 年代产生的一门新兴交叉学科,几十年来得到了飞速的发展。实践证明,使用计算机辅助设计,可以大大提高工作效率,缩短设计周期,并极大地提高设计质量,使工程设计人员从枯燥、繁琐的运算、制图工作中解放出来。随着 CAD 技术的日益普及,越来越多的人体会到 CAD 就是生产力。目前,计算机辅助设计已经成为工程设计人员必须掌握的技术。

加热炉是轧钢生产中的重要热工设备。将 CAD 技术应用于加热炉设计中,必将带来炉子设计的一场革命。与其他行业相比,目前我国加热炉 CAD 的开发与应用还比较落后。这主要是由于:1)加热炉设计属于非标设计,缺乏统一的设计规范,这给 CAD 系统的开发带来了很大的不便;2)缺乏一支稳定的开发队伍,对加热炉 CAD 系统的构成尚没有形成全面的认识,致使开发工作缺少系统性。

本书针对加热炉设计工作的特点,提出了一个加热炉 CAD 系统的结构模型,指出了加热炉 CAD 系统所应包含的研究内容及方法。全书总体上可分为三大部分:第一部分是 CAD 的概念、组成及其发展,AutoCAD 软件的基本命令;第二部分是关于加热炉炉型选择专家系统的研究;第三部分是加热炉设计计算方法及最优加热数学模型的研究。

由于本书涉及的专业面较宽,作者水平有限,疏漏不妥之处在所难免,敬请广大读者不吝指正。

在编写过程中,参阅了大量的文献,在此表示谢意;个别有所引用,未能一一列出,敬请原谅。

于庆波

2002 年 12 月于东北大学

# 目 录

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| <b>1 计算机辅助设计概述</b> .....           | 1   |
| 1.1 计算机辅助设计的概念及系统组成 .....          | 1   |
| 1.2 计算机辅助设计的发展历史 .....             | 8   |
| 1.3 计算机辅助设计技术的应用领域及其效益分析 .....     | 11  |
| 1.4 工业炉计算机辅助设计概述 .....             | 18  |
| <b>2 设计参数数表的处理</b> .....           | 25  |
| 2.1 数表的程序化处理 .....                 | 25  |
| 2.2 数表的插值计算 .....                  | 32  |
| 2.3 数表的公式化处理 .....                 | 42  |
| <b>3 AutoCAD 软件简介</b> .....        | 51  |
| 3.1 AutoCAD 概述 .....               | 51  |
| 3.2 基本绘图命令 .....                   | 55  |
| 3.3 图形编辑命令 .....                   | 62  |
| 3.4 文字标注与图案填充 .....                | 68  |
| 3.5 尺寸标注 .....                     | 71  |
| 3.6 创建和插入图块 .....                  | 75  |
| <b>4 加热炉炉型选择专家系统</b> .....         | 78  |
| 4.1 专家系统概述 .....                   | 78  |
| 4.2 基于 Case 推理方法的加热炉炉型选择专家系统 ..... | 86  |
| 4.3 基于知识工程方法的炉型选择专家系统 .....        | 91  |
| <b>5 连续加热炉设计计算的电算化</b> .....       | 103 |
| 5.1 燃料燃烧计算 .....                   | 103 |
| 5.2 金属加热时间计算 .....                 | 109 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 5.3 炉子热平衡和燃料消耗量的计算 .....    | 130        |
| <b>6 加热炉最优供热制度的研究 .....</b> | <b>136</b> |
| 6.1 加热炉优化方法概述 .....         | 136        |
| 6.2 钢坯最优加热数学模型的建立 .....     | 139        |
| 6.3 炉气温度及燃料量的计算 .....       | 145        |
| 6.4 计算实例.....               | 149        |
| <b>参考文献.....</b>            | <b>156</b> |

# 1 计算机辅助设计概述

20 世纪 70 年代以来, 计算机辅助设计(Computer Aided Design, 简称 CAD)技术逐渐开始在世界范围内推行起来, 它不仅促进了计算机本身性能的提高和更新换代, 而且几乎影响到一切科技领域, 冲击着传统的工作模式。目前, 以计算机辅助设计这一高技术为代表的一批先进技术已普遍应用于机械制造、汽车、航空、造船、土建、铁路、轻纺、电子等许多行业的工程设计中, 在缩短设计周期、提高设计质量、降低成本、发挥设计人员的创造性等方面发挥着重要的作用。由于计算机技术的飞速发展, 特别是小型计算机和微型计算机的大量生产, 硬件性能价格比的大幅度提高, 使得各种档次的计算机辅助设计系统和计算机辅助设计工作站大量供应市场, 涌进各种中小企业, 大大推动了计算机辅助设计技术的普及和应用。计算机网络技术和数据库技术的发展, 为计算机辅助设计提供了更加广阔的天地, 计算机辅助设计技术已被人们广泛接受和应用。

计算机辅助设计既是崭新的技术, 又是活生生的生产力, 它已经并将进一步给人类带来巨大的影响和利益。计算机辅助设计技术的水平如何, 已经成为衡量一个国家工业技术水平的重要方面。虽然我国在计算机辅助设计技术的研究和开发方面起步较晚, 但是近年来已日益引起各方面的重视, 特别是企业界对应用计算机辅助设计的要求日益迫切。因此, 大力开展计算机辅助设计技术的研究和开发, 迎头赶上新技术革命潮流, 发挥计算机辅助设计在各领域中的作用, 是十分紧迫的任务。

## 1.1 计算机辅助设计的概念及系统组成

### 1.1.1 计算机辅助设计的概念

“设计”一词在我国词源中有记载, 它来源于拉丁语 *designar*, 意思是详尽地叙述。现代词汇中有工程设计、系统设计、建筑设计、

产品设计、包装设计、程序设计和设计方法等。设计的概念是不断发展变化的,从制作物件以手工业为主的时代开始到现在,人们都在不断构筑新的设计概念。可以肯定,设计是以促进社会生产力的发展和提高人类生活水平为目的的一种创造性劳动,是伴随着数据信息的搜集、处理以及传递的作业,也是一种基本的工业活动,它对工业发展、自然资源、社会结构以及对人们的生活都有着巨大而深刻的影响。

到目前为止,计算机辅助设计并没有确切的定义。早在计算机诞生的初期,人们就已用计算机来辅助设计计算,因此可以把设计中的数值求解看做是计算机辅助设计的最初形式。随着计算机技术的发展,尤其是图形学的发展,计算机辅助设计的概念也在不断发展变化,并有了更加丰富的内容和更深刻的含义。

首先,计算机辅助设计是一项在设计方案求解过程中人与计算机及其外部设备紧密联系以发挥各自特长的专业技术。对各种任务,在同一范畴内人与计算机的能力在绝大多数情况下是互为补充的。就某些任务来说,人比计算机优越,而在另一些任务上,计算机则强于人。而计算机辅助设计则把人与计算机各自的特长有机地结合起来,因而发挥出巨大的威力。其表现可以从下述四方面看出:

### (1) 设计结构逻辑

经验与判断结合使用是设计过程的必要组成部分。设计师必须控制设计结构,在自己设计的各个部分必须保持灵活性,并能按照自己的直觉进行工作,而不是机械地仿照计算机逻辑。设计师可以从过去的设计中学习,积累设计经验。而到目前为止,计算机还做不到这一点。但计算机能够对过去的设计参考资料提供快速调用。因此,设计师可将自己的经验通过一定的方式存入计算机,以便其他设计人员调用和存取。

### (2) 信息处理

在确定设计算法之前,应从问题说明中得到足够的信息。在设计过程中,要处理信息;设计完成之后,必须输出能使该设计实现的信息。图 1-1 给出了传统设计过程的应用,即设计师从输入说明中获得

信息, 信息经由设计师处理(设计制图, 计算分析); 设计结束时, 输出制造信息(设计图和制造指令)。

图 1-2 表明上述过程已经发展到设计人员与计算机的结合。当前设计的步骤应该包括在设计人员与计算机之间用图形和文字(包括数值)所表达出来的信息流动。由设计人员输入的初始说明必须转换成能与计算机进行通讯的格式, 计算机则检查各种人为的错误信息, 并在设计人员的参与下进行修改。

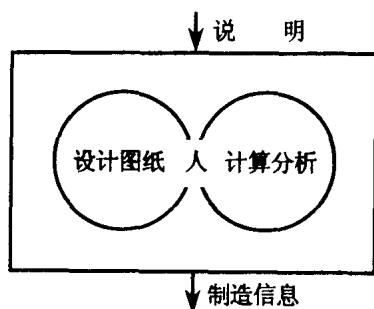


图 1-1 传统的设计过程

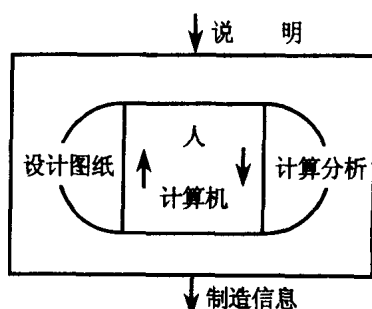


图 1-2 计算机参与的设计过程

人脑能够存储信息, 并凭直觉进行整理分类, 但是它的存储容量是有限的, 且随着时间的推移, 许多信息将被遗忘。而计算机虽没有凭直觉组织数据的能力, 但有很大的能长期存储信息的容量, 因此, 设计人员可将信息存到计算机中。

从设计过程中输出的制造信息, 通常包含画出的产品图纸。在人工设计过程中, 这是一个很慢又很繁琐的过程, 由计算机来执行这个任务是最合适不过的, 不仅速度快、质量好, 而且还能将图纸信息存储起来, 在需要时, 可以随时输出。只有通过计算机提供更多的产品信息, 设计人员才能从繁重的重复性劳动中解放出来。

### (3) 修改

设计说明信息必须经常修改, 以便改正设计中的错误、改变设计和用以前的设计来产生新的设计。计算机能够根据系统定义来检测设计错误, 而人却能凭直觉方式来检测错误。一般说来要计算机自动校

正错误是比较困难的，计算机应该在设计人员的监督之下改正错误以及改变任何设计。

#### (4) 分析

冗长的数值分析对人来说是消耗时间和令人厌烦的，而计算机在执行分析计算方面却具有非凡的本领。设计中的数值分析和计算工作应尽可能交给计算机去完成，以使设计人员能留出时间，将数值计算所得的结果和自己的直觉分析与经验结合起来做出设计决策。

从上面的讨论中可以看出，在计算机辅助设计中，计算机的主要职能是：做设计人员记忆能力的扩充，增强设计人员的分析和逻辑能力，把设计人员从例行的重复劳动中解放出来。而设计人员执行的任务是：控制设计过程的信息分配，应用创造力、经验和智慧进行设计，组织设计信息，在计算机的帮助下对各种设计方案进行综合评审和选择。

因此，计算机辅助设计不是简单地使用计算机代替人工计算和制图，而是通过与设计人员之间的强有力的人机交互作用，从本质上增强设计人员的想像力、创造力和判断力，从而大大提高设计能力和设计水平。

其次，现代计算机辅助设计的内容和成就集中反映在 CAD 工作站或 CAD 系统上。CAD 工作站是知识密集、技术密集的产业，它集中反映了现代计算机的系统与结构、网络与通讯、数据库、计算机语言与算法、计算机图形学、信息采集与处理、自动控制，以及电子学、磁学、光学、声学等多种学科的最新成就。因而计算机辅助设计是计算机在设计自动化领域里的综合应用技术。它将产品和工程设计所需要的基础技术、设计理论、方法和数据以及设计人员的经验与智慧和计算机强大的功能有机地结合起来。设计人员利用计算机辅助设计技术可以通过人机对话方式，高速度、高质量地完成最佳设计方案。计算机辅助设计技术综合了计算机硬件和软件的最新成就，特别是图形技术、数据库技术、智能模拟技术等重大成果而形成强有力的设计工具，是当代技术革命新潮流的重要内容之一。

目前,对计算机辅助设计比较一致的描述是:计算机辅助设计是将计算机硬件、软件适当组合起来的一种设计系统,用来完成设计过程中的信息检索、分析、计算、综合、修改、文件编制及图纸绘制等诸环节的工作,以使设计得以确认和最佳化。

### 1.1.2 计算机辅助设计系统的组成

计算机辅助设计系统是为工程设计或产品设计提供一个计算机的软件和硬件环境。也可以说,计算机辅助设计系统是将计算机的软件、硬件有机地组合在一起,构成为设计服务的系统。因此,对计算机辅助设计系统的基本要求是:要有很强的信息(图形)输入功能,数据处理和自动制图功能,对图形可以进行编辑,精确、快速地输出绘图的能力。计算机辅助设计的主要内容应包括:

- 1) 综合数据库,以存贮和管理设计信息;
- 2) 交互图形程序库,以进行图形的处理和信息交换;
- 3) 专业应用程序库,以完成各种类型的设计计算和数据处理。

一个计算机辅助设计系统由硬件系统和软件系统两大部分组成。硬件系统主要由电子计算机及其外围设备组成,它是计算机辅助设计技术的物质基础。软件系统是计算机辅助设计技术的核心,它决定了系统所具有的功能。硬件和软件的组合形成了计算机辅助设计系统。

从硬件系统结构上看,计算机辅助设计系统大致可分为单机式系统、集中式系统和 workstation 网络系统三大类。

单机式系统如图 1-3 所示,这种系统为单用户、单任务环境,主

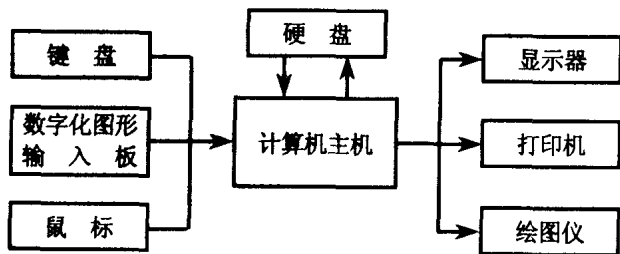


图 1-3 单机式计算机辅助设计系统

机常采用微型计算机，价格低廉，灵活方便，但处理能力相对较弱。

集中式系统如图 1-4 所示。这种系统使用功能较强的计算机，可多个用户使用同一台计算机，资源共享，但一次投资较大，使用起来不够灵活。

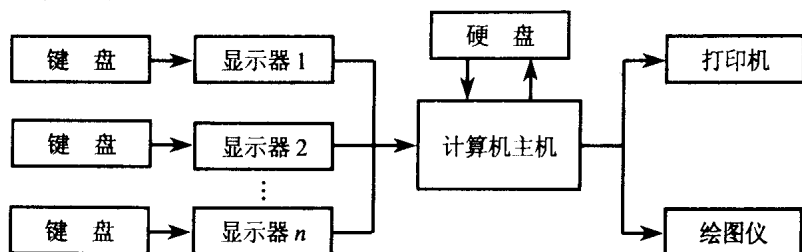


图 1-4 集中式计算机辅助设计系统

自从计算机辅助设计工作站问世以来，大多数用户趋向采用工作站网络系统来代替集中式的计算机辅助设计系统。工作站网络系统以开放式、标准化的功能向用户提供有效的网络接口，操作系统也包含了完整的网络功能，并以标准的通讯协议为基础，同时它还提供了一系列的数据通讯功能，使工作站可与各类计算机连接工作。工作站网络系统形式如图 1-5 所示。

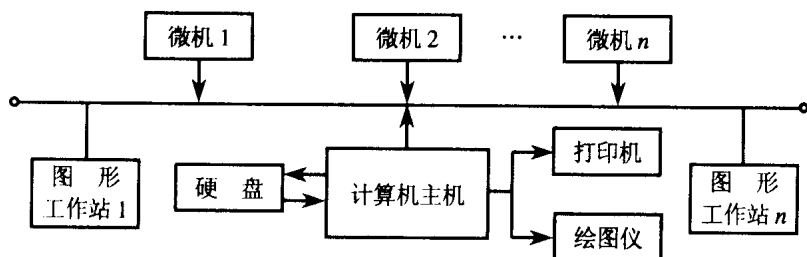


图 1-5 工作站网络计算机辅助设计系统

计算机辅助设计的软件通常包括操作系统，各种程序语言和编译程序、常用服务例行程序以及应用程序等，具体来说可分为系统软件、支撑软件和应用软件三个层次，它们之间的关系可由图 1-6 表示。

系统软件对计算机资源进行自动管理和控制，它处于整个软件的

核心内层,主要包括操作系统、数据通讯系统等,所有的软件都是在操作系统的管理和支持下进行工作的。它使计算机协调一致并且高效地完成各种任务。例如,系统软件能执行对作业和进程的管理,用中央处理器完成各种操作或运算,对存储器进行管理以及有效地存取程序和数据,管理外围设备进行机内、机外的信息通讯传递等。

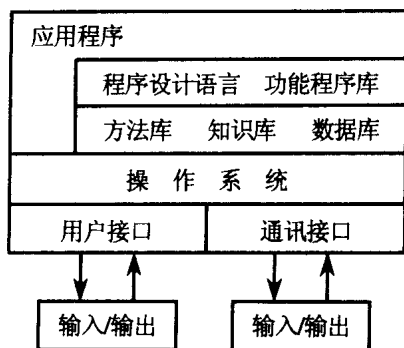


图 1-6 CAD 系统的软件层次关系

计算机辅助设计系统与操作系统密切相关,在购置计算机时,应该选择配置功能完善、通用性好的操作系统,并注意它对高级语言的支持,内存寻址能力,是否具有虚拟存储和多用户、多任务工作环境等方面的性能,特别是对已有软件的支持能力。操作系统软件大多是由计算机厂家提供,用户可根据需要选配。

支撑软件是帮助人们高效率地开发应用软件的工具系统,也称为软件开发工具。计算机辅助设计系统的支撑软件主要包括图形支撑系统和数据库管理系统,它们是计算机辅助设计的核心技术。此外,程序设计语言、面向计算机对象的专用语言等也属于支撑软件,这些软件为计算机辅助设计系统的开发提供了必要的软件环境,可实现多种多样的计算机辅助设计功能。支撑软件是应用软件开发的基础,计算机辅助设计系统的功能和效率在很大程度上取决于支撑软件的性能,这可以从以下几个方面理解。首先,一般的计算机辅助设计软件往往很难满足用户的多种要求,特别是工作内容较多的综合性系统,用户应该根据自己的特殊需要进行二次开发。优良完善的支撑软件是二次开发的必需条件。其次,计算机辅助设计的开发部门往往要开发不同应用领域或不同专业要求的计算机辅助设计系统。虽然这些系统的工作内容和方式不相同,但是对软件的某些基本要求是相同的,例

如交互环境、数据管理、图形处理等，这些应该由公用的软件提供，与具体的应用相分离，没有必要在每个系统中重复地开发。再次，因为计算机和外围设备种类繁多，接口类型经常有所差别，所以应当将与硬件相关的部分编写在支撑软件中，使支撑软件适用于常用的硬件系统，应用软件则与硬件无关。这样的计算机辅助设计系统才能适应较广泛的硬件环境，而且具有良好的可移植性。

应用软件是用户利用计算机以及它所提供的各种系统软件和支撑软件，编制解决用户各种实际问题的程序。计算机辅助设计系统的功能最终反映在解决具体设计问题的应用软件上，它应具备如下特点：

- 1) 能够切实可行地解决具体工程问题，给出直接用于设计的最终结果；
- 2) 符合规范、标准和工程设计中的习惯；
- 3) 充分利用计算机辅助设计系统的软件资源，具有较高的效率；
- 4) 具有较好的设备无关性和数据存储无关性，便于运行于各类硬件环境以及与不同的软件连接；
- 5) 使用方便，具有良好的人机交互界面；
- 6) 运行可靠，维护简单，便于扩充，具有良好的再开发性。

通常，应用软件需要用户自行开发。这是因为某些设计的专业性较强，涉及的领域广泛，其开发需要专业人员的知识和经验，所以计算机辅助设计系统的开发是工程技术人员应用计算机技术生产的综合产物。

## 1.2 计算机辅助设计的发展历史

1962 年，美国麻省理工学院林肯实验室的 I. E. Sutherland 发表他的博士论文《SketchPad：一个人机通讯的图形系统》，首先提出了计算机图形学、交互技术、分层存储的数据结构等新思想，并介绍了一个能在 10~15 分钟内完成通常用手工需数周才能完成的设计工作的系统。该系统包括一个阴极射线显像管 CRT、Linclon-TX2 计算机及相应的软件系统。图形信息显示在 CRT 的屏幕上，可以用光笔对其进行

操作处理。这就是最初的一种交互图形系统，这一系统的研制成功标志着计算机辅助设计技术的诞生。

最初的计算机辅助设计系统由于交互图形设备价格昂贵，而且都与大型主机相连，一般公司无力问津，只有少数几家实力雄厚、产品价格高的大公司才能使用。如美国通用汽车公司开发了汽车外形设计系统 DAC-1，用以综合分析汽车的三维曲线外形设计；洛克希德公司开发了飞机设计的 CGAFAM 系统，用于飞机设计的强度分析、绘图和数控编程等；贝尔实验室开发了 Graphic1，用于电路的方案设计、印刷板的电路布局和布线设计等。这样就大大地限制了计算机辅助设计技术的普及和发展。其后，随着微电子技术的发展，计算机生产成本的下降，计算机辅助设计技术的应用与研究才得以逐渐地开展起来。经过三十多年的发展，至今计算机辅助设计技术已广泛地应用于各行各业的产品设计和开发工作中，成为一项对国民生产有着重大影响的高技术产业。

纵观计算机辅助设计技术的发展历程，它大致经历了以下三个阶段：

#### (1) 绘图工具(Drafting Tool)阶段

20 世纪 60 年代至 70 年代中期，是计算机辅助设计技术的发展、成熟阶段。在这段时期内，小型机、图形输入板、磁盘和廉价的存贮器、显像管相继出现，使得计算机辅助设计系统成为一种商品进入了市场，并出现了许多专门开发计算机辅助设计系统的公司，如 Calma 公司、CV(Computer Vision)公司、Intergraph 公司、Applicon 公司等。这一阶段各生产厂家主要致力于二维绘图软件的开发研制工作，要解决的问题是如何快速地绘制出完整的工程图纸。其所开发的计算机辅助设计系统的应用领域主要集中在电子工业，如印刷电路板的布局、布线和集成电路的版图设计等。

#### (2) 设计工具(Design Tool)阶段

70 年代中期至 80 年代中期，是计算机辅助设计技术的高速发展阶段。这一时期开发的计算机辅助设计系统已由单纯的绘图工具向设

计工具转变。由于设计功能是通过大量的人机对话方法进行的,因而这种系统又称为交互式图形设计系统。

这一时期出现了大量的计算机辅助设计支撑软件,从而使人们不是通过编程而是通过简单的命令在屏幕上直接生成、编辑、修改所需的图形。这种过程与人们在图纸上画图基本相似。这些支撑软件的出现,不仅大大提高了人机交互能力,而且使过去的封闭式系统逐步转变为开放式系统。用户可以不依赖于 CAD 公司来开发自己的应用软件。这样就大大加速了计算机辅助设计系统由单纯的绘图系统向设计系统的转变。

三维实体模型也是在这一时期出现的,它是一种更符合设计工程师思维习惯的工作方法,同时对制造(施工)总流程也是一种革新、一种简化。三维实体模型的设计思路与传统的画三维图的方法迥然不同。它首先建立一些图像单元的立体图,利用这些图元根据设计工程师的立体设计构思,像摆积木那样来构成立体图形。一般的三维立体模型具有实体间布尔运算功能和碰撞检查功能,因而构图更加方便、准确。为了便于施工,所有二维施工图都由三维实体模型按设计工程师指定的位置由计算机自动生成。另外,还可以在制造(施工)之前,利用计算机辅助设计系统的分析功能软件对设备进行静态和动态分析。所谓静态分析是对设备进行物理学和力学方面的计算;所谓动态分析是指在指定的工况下模拟设备的各种动作,以检验设备的性能,借助于屏幕的动态图像显示,可以像动画片那样把各检验项目的动作一幕幕地显示在屏幕上。

### (3) 设计系统(Design System)阶段

80 年代中期以后,计算机辅助设计技术的发展又跃上了一个新的台阶。它把大量的单体设备和单体工程从纵的方面和横的方面有机地联系起来,构成了一个完整的工程系统。这时的计算机辅助设计技术一般又称为 CAD/CAM(Computer Aided Manufacturing)技术。于是从单体到系统,从设计到制造(施工),就变成了一个完整的系统。

设计系统的出现使得工程设计师可以不受传统设计习惯和计算工