

上海市本科教育高地建设
机械制造及其自动化系列教材

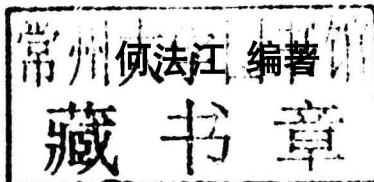
机械CAD/CAM技术

何法江 编著

清华大学出版社

上海市本科教育高地建设
机械制造及其自动化系列教材

机械CAD/CAM技术



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地阐述了机械 CAD/CAM 技术的基本概念、基本理论和基本方法。全书分为 11 章,内容包括 CAD/CAM 概述、CAD/CAM 系统介绍、工程数据的计算机处理技术、计算机图形处理技术、CAD 建模技术、计算机辅助工程分析、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助数控编程、计算机辅助生产管理系统、计算机辅助质量系统和 CAD/CAM 集成及相关新技术等内容。

本书内容系统性强,注重基本原理、基本方法的介绍,强调 CAD/CAM 的实用性和对学生实践能力的培养。

本书可作为高等学校机电工程类专业本科学生的教材,也可供相关专业的本科生、研究生以及工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD/CAM 技术/何法江编著.--北京:清华大学出版社,2012.2

(上海市本科教育高地建设机械制造及其自动化系列教材)

ISBN 978-7-302-27736-1

I. ①机… II. ①何… III. ①机械设计:计算机辅助设计—高等学校—教材②机械制造:计算机辅助制造—高等学校—教材 IV. ①TH122②TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 280170 号

责任编辑:庄红权 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:19.5

字 数:466 千字

版 次:2012 年 2 月第 1 版

印 次:2012 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 元

产品编号:032781-01

上海市本科教育高地建设 机械制造及其自动化系列教材编写委员会

顾 问 陈关龙

主 任 程武山

副主任 何法江

编 委 王明红 蔡颖玲 陆 宁 陆 文

秘 书 周玉凤

序言

进入 21 世纪以来,我国制造业得到了飞速发展。中国已成为世界制造业大国,正面临从制造业大国向制造业强国转型的关键时期。培养大批适应中国机械工业发展的优秀工程技术人才是实现这一重大转变的关键。

遵循高等教育、人才培养和社会主义市场经济的规律,围绕《上海优先发展先进制造业行动方案》,紧贴区域经济和社会需求的发展,上海工程技术大学机械工程学院抓住“上海市机械制造及其自动化本科教育高地建设”这一机遇,把握先进制造业和现代服务业互补、融合的趋势,把打造工程本位的复合应用型人才培养基地作为高地建设的核心,把培养具有深厚的科学理论基础和一定的工程实践能力及创新能力的优秀的复合应用型人才——生产一线工程师,作为高地建设的战略发展目标。

正是基于上述考虑,本编写委员会联合清华大学出版社推出“上海市本科教育高地建设机械制造及其自动化系列教材”,希望根据“以生为本,以师为重,以教为基,以训为媒,突出工程实践”的教育思想理念和当前的科技水平及社会发展的需求,精心策划和编写本系列教材,培养出更多视野宽、基础厚、素质高、能力强和富于创造性的工程技术人才。

本系列教材的编写,注重文字通顺,深入浅出,图文并茂,表格清晰,符合国家与部门标准。在编写时,作者重视基础性知识,精选传统内容,使传统内容与新知识之间建立起良好的知识构架;重视处理好教材各章节间的内部逻辑关系,力求符合学生的认识规律,使学习过程变得顺理成章;重视工程实践与教学实验,改变原教材过于偏重理论知识的倾向,力图引导学生通过实践训练,发展自己的工程实践能力;倡导创新实践训练,引导学生发现问题、提出问题、分析问题和解决问题,培养创新思维能力和团队协作能力。

本系列教材的编写和出版,是上海市本科教育高地建设课程和教材改革中的一种尝试,教材中一定会存在不足之处,希望全国同行和广大读者不断提出宝贵意见,使我们编写出的教材能更好地为教育教学改革服务,更好地为培养高质量的人才服务。

陈关龙

2008 年 12 月

前言

计算机技术已深入机械制造生产过程的各个环节,如产品设计、工艺设计、生产管理、制造装备、质量控制等诸多领域,并逐渐形成了以计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺过程设计(CAPP)、计算机辅助制造(CAM)等技术为核心的计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术,日益受到国内外机械工业界的高度重视。

本书重点突出 CAD/CAM 的基本概念、基本原理、应用方法和应用技巧,并结合具体的机械 CAD/CAM 技术进行实践讲解和练习。

全书共分 11 章,通过对 CAD/CAM 概述、CAD/CAM 系统介绍、工程数据的计算机处理技术、计算机图形处理技术、CAD 建模技术、计算机辅助工程分析、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助数控编程、计算机辅助生产管理系统、计算机辅助质量系统和 CAD/CAM 集成及相关新技术的介绍,力图使读者全面系统地学习和掌握 CAD 的基本知识和应用方法。

编者在书中引用了一些其他作者的相关书籍内容及教学参考资料,在此一并致谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中不足、漏误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2011 年 12 月于上海

目录

1	CAD/CAM 概述	1
1.1	CAD/CAM 技术的基本概念	1
1.2	CAD/CAM 技术的发展概况	5
1.2.1	CAD 技术的发展概况	5
1.2.2	CAM 技术的发展概况	6
1.2.3	CAPP 技术的发展概况	7
1.2.4	CAD/CAM 集成技术发展概况	8
1.3	CAD/CAM 的应用和发展趋势	9
1.3.1	CAD/CAM 的应用	9
1.3.2	CAD/CAM 的发展趋势	11
1.4	CAD/CAM 系统的功能与任务	14
1.4.1	CAD/CAM 系统的基本功能	15
1.4.2	CAD/CAM 系统的任务	16
	思考题	19
2	CAD/CAM 系统介绍	20
2.1	CAD/CAM 系统的组成与分类	20
2.1.1	CAD/CAM 系统的组成	20
2.1.2	CAD/CAM 系统的分类	21
2.1.3	CAD/CAM 系统的工作过程	24
2.2	CAD/CAM 硬件系统	26
2.2.1	计算机硬件系统	26
2.2.2	生产设备系统	38
2.2.3	计算机网络设备系统	42
2.3	CAD/CAM 软件系统	44
2.3.1	系统软件	45

2.3.2	支撑软件	49
2.3.3	应用软件	52
2.4	CAD/CAM 系统的设计原则	52
2.4.1	系统设计的总体原则	53
2.4.2	硬件设备的选用原则	53
2.4.3	软件系统的选用原则	54
	思考题	55
3	工程数据的计算机处理技术	56
3.1	工程数表的程序化处理	56
3.1.1	工程数表的数组化处理	57
3.1.2	数表的文件化处理	58
3.1.3	数表的数据库管理	61
3.1.4	数表的公式化处理	70
3.2	线图的计算机处理	79
3.2.1	线图的离散化处理	79
3.2.2	线图程序化的步骤	81
3.3	CAD/CAM 中的数据结构	81
3.3.1	数据结构的基本概念	81
3.3.2	数据结构的分类	82
3.3.3	线性结构	83
3.3.4	非线性结构	85
3.3.5	常用的数据文件组织方法	88
3.3.6	查找和排序	89
	思考题	91
4	计算机图形处理技术	92
4.1	图形处理的数学基础	92
4.1.1	矢量运算	92
4.1.2	矩阵运算	93
4.1.3	齐次坐标	95
4.2	二维图形的几何变换	96
4.2.1	二维图形的基本几何变换	96
4.2.2	二维图形的组合变换	100
4.2.3	二维图形变换的程序设计	105
4.3	三维图形的几何变换	107
4.3.1	三维图形的基本几何变换	107
4.3.2	三维图形的组合变换	112
4.3.3	工程图的生成	113

思考题	117
5 CAD 建模技术	118
5.1 概述	118
5.1.1 建模的基本概念	118
5.1.2 建模技术简介	120
5.1.3 CAD/CAM 建模技术的应用	123
5.2 线框建模	123
5.3 表面建模	125
5.3.1 表面建模的特点	125
5.3.2 表面建模的分类	125
5.4 实体建模	127
5.4.1 实体建模的基本原理	127
5.4.2 实体建模的方法	128
5.5 特征建模	131
5.5.1 概述	131
5.5.2 特征建模的原理	132
5.5.3 特征的表达方法	134
5.5.4 零件信息模型	135
思考题	138
6 计算机辅助工程分析	139
6.1 计算机辅助工程概述	139
6.2 有限元方法	141
6.2.1 有限元法的概念	141
6.2.2 弹性力学的基础知识	142
6.2.3 有限元法的基本思想	145
6.2.4 平面问题的有限元分析	148
6.2.5 平面问题的有限元分析实例	153
6.2.6 有限元法的前置处理和后置处理	155
6.2.7 常用有限元分析软件介绍	159
6.3 优化设计	160
6.3.1 优化设计的数学模型	160
6.3.2 常用优化方法	165
6.3.3 优化设计的一般过程	169
6.3.4 常用优化算法	170
6.3.5 优化设计应用实例	174
6.4 计算机仿真	176
6.4.1 概述	176

6.4.2	计算机仿真的实现过程	178
6.4.3	计算机仿真在 CAD/CAM 系统中的应用	179
思考题		180
7	计算机辅助工艺过程设计	181
7.1	概述	181
7.1.1	CAPP 的概念	182
7.1.2	CAPP 的发展概况和趋势	183
7.1.3	CAPP 的组成和工作过程	186
7.1.4	CAPP 的类型及原理	189
7.2	派生式 CAPP 系统	190
7.2.1	成组技术	190
7.2.2	零件信息的描述	191
7.2.3	零件信息的描述方法	192
7.2.4	回转类零件的信息描述	196
7.2.5	箱体类零件的信息描述	197
7.2.6	派生式 CAPP 系统的开发过程	199
7.3	创成式 CAPP 系统	204
7.3.1	创成式 CAPP 系统概述	204
7.3.2	创成式 CAPP 系统的开发和工作过程	205
7.3.3	创成式 CAPP 系统的工艺决策	207
7.4	CAPP 专家系统	213
7.4.1	CAPP 专家系统的组成	213
7.4.2	CAPP 专家系统程序设计简介	214
7.5	CAPP 系统的其他功能及实现	216
7.5.1	切削用量的确定	216
7.5.2	工时定额的确定	216
7.5.3	工序图的自动生成和绘制	217
思考题		218
8	计算机辅助数控编程	219
8.1	数控编程的基本概念	219
8.1.1	数控编程的内容与步骤	219
8.1.2	数控编程的标准与代码	221
8.1.3	数控加工程序的结构与格式	224
8.1.4	数控编程的指令代码	225
8.2	手工编程方法	228
8.3	数控自动编程	228
8.3.1	APT 语言自动编程	229

8.3.2 CAD/CAM 集成系统数控编程	232
思考题	234
9 计算机辅助生产管理系统	235
9.1 概述	235
9.2 计算机辅助生产管理系统组成	237
9.3 物料需求计划	239
9.4 车间作业计划的编制	241
9.5 制造资源计划	245
9.6 企业资源计划	250
9.7 供应链及供应链管理	254
思考题	258
10 计算机辅助质量系统	259
10.1 概述	259
10.1.1 基本概念	259
10.1.2 产品质量控制和质量控制模型	260
10.2 计算机辅助质量系统功能结构	262
10.3 质量数据自动采集与检测	266
10.3.1 数据采集方式与检测方法	266
10.3.2 三坐标测量机	267
10.4 统计质量控制	271
10.4.1 控制图的概念及原理	271
10.4.2 控制图的种类及选用	272
10.4.3 控制图的判断	273
10.5 计算机辅助加工过程监控	274
思考题	278
11 CAD/CAM 集成及相关新技术	279
11.1 CAD/CAM 集成的概念	279
11.1.1 集成的概念与作用	279
11.1.2 CAD/CAM 集成系统的基本组成	281
11.1.3 CAD/CAM 集成的关键技术	283
11.2 CAD/CAM 集成方法	284
11.2.1 基于专用接口的 CAD/CAM 集成	284
11.2.2 基于 STEP 的 CAD/CAM 集成	285
11.2.3 基于数据库的 CAD/CAM 集成	285
11.3 基于产品数据管理的 CAD/CAM 系统集成	286
11.3.1 产品数据表达	286

11.3.2 产品数据管理.....	287
11.3.3 基于 PDM 的 CAD/CAM 内部集成	288
11.3.4 基于 PDM 的 CAD/CAM 外部集成	290
11.4 计算机集成制造系统.....	290
11.5 先进制造技术.....	292
思考题.....	295
参考文献	296



CAD/CAM 概述

学习目的与要求

CAD/CAM 技术是一项综合性的新技术,随着计算机技术的迅速发展,CAD/CAM 技术各个领域尤其在机械、电子、建筑等工业领域得到了广泛的应用,是数字化、信息化制造技术的基础。本章将主要介绍 CAD/CAM 的基本概念和发展概况、CAD/CAM 的应用和发展趋势、CAD/CAM 系统的功能与任务。

1.1 CAD/CAM 技术的基本概念

随着计算机技术在制造业等领域应用的不断深入,先后提出了计算机辅助设计(computer aided design,CAD)、计算机辅助工艺规划(computer aided process planning,CAPP)和计算机辅助制造(computer aided manufacturing,CAM)等概念。CAD/CAM 是计算机辅助设计和计算机辅助制造的简称,指以计算机作为主要技术手段来进行产品的设计和制造。

1. CAD

计算机辅助设计(CAD)是指工程技术人员以计算机为辅助工具来完成产品设计过程中的各项工作,如草图绘制、零件设计、装配设计、工装设计、工程分析等。

CAD 系统的功能模型见图 1.1,这是一个接受新产品的开发计划、产品性能要求,通过相关的 CAD 软件、数据库和设计规范及技术要求,以零件图、装配图等产品技术文件的形式表达出来的过程。

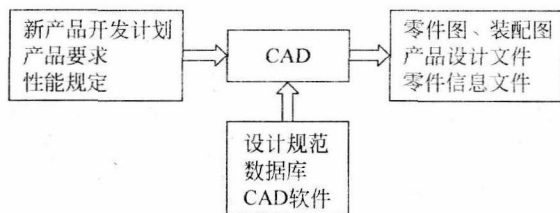


图 1.1 CAD 系统的功能模型

CAD 系统包括产品设计与工程分析两个方面。

(1) 产品设计

产品设计主要是指构建产品的几何形状、产品材料的选用,以及为了保证整个设计的统

一性(如与制造、装配等方面的设计的一致性),而对产品提出的一些技术要求。

产品设计分概念设计、工程设计和详细设计三个阶段。

概念设计阶段:设计者根据产品的技术要求,将产品的功能、价格、生命周期、外形要求、重量等量化定义成设计过程中所需的参数信息。

工程设计阶段:完成产品的几何形状设计、零件表和材料清单等。

详细设计阶段:完成产品的符合功能要求、加工要求和装配要求的每个零件的详细设计。

(2) 工程分析

工程分析亦称计算机辅助工程分析(computer aided engineering, CAE),是指运用有限元法分析、可靠性分析、动态分析、优化设计等手段,对产品的性能进行检验、模拟等测试,以提高产品设计的质量及可靠性。

就目前 CAD 技术可实现的功能而言, CAD 是设计人员在产品概念设计的基础上进行产品的几何造型,然后进行如有限元分析、模拟仿真等的工程分析,根据工程分析的计算结果对设计进行修改,最终输出设计文档和工程图。

CAD 的功能可归纳为:几何建模、工程分析、模拟仿真、自动绘图四大类。而实现这些功能的一个完备的 CAD 系统应由科学计算、图形系统和工程数据库等组成。

科学计算包括有限元分析、可靠性分析、动态分析、优化设计等内容。

图形系统用于几何造型、自动绘图(二维工程图、三维实体图)、动态仿真等设计过程。

工程数据库的任务是对设计过程中所需使用或产生的数据、图形、文档等信息进行存储和管理。

减速箱和汽车的 CAD 模型分别见图 1.2 和图 1.3。

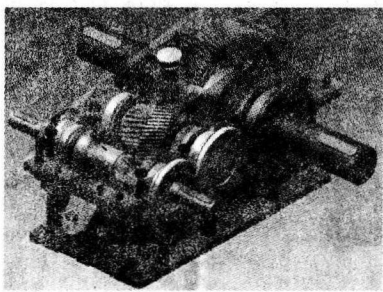


图 1.2 减速箱 CAD 模型

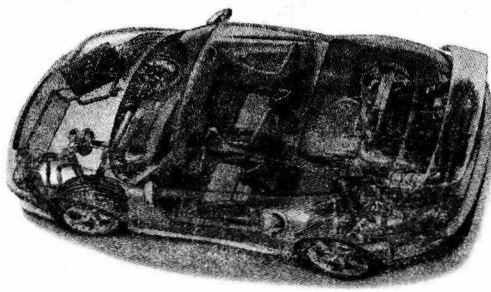


图 1.3 汽车 CAD 模型

2. CAPP

计算机辅助工艺规程设计(CAPP),是指工艺人员借助于计算机,根据产品制造工艺的要求,交互地或自动地确定产品加工方法和加工工艺,完成产品的工艺规程设计,如加工方法选择、工艺路线确定、工序设计等。

CAPP 接受来自 CAD 系统的零件信息(包括几何信息和工艺信息),运用工艺设计知识、数据库和图形系统,设计合理的加工方法、工艺路线、加工工序等加工工艺。

CAPP 系统的功能模型见图 1.4。

计算机辅助工艺规程设计是根据产品设计进行产品的加工方法和制造过程的设计。CAPP 系统的功能包括毛坯设计、加工方法选择、工序设计、工艺路线制定和工时定额计算等。

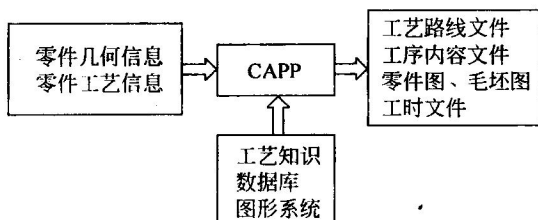


图 1.4 CAPP 系统的功能模型

工序设计包含加工设备和工装的选用、加工余量的分配、切削用量选择以及机床和刀具的选择、工序图生成等。

工艺设计是制造企业中的主要技术部门,其设计效率的高低以及工艺设计质量的优劣,对生产组织、产品质量、生产率、产品成本、生产周期等均有极大的影响。

长期以来,传统的制造工艺是工艺人员依据个人的制造工艺经验以手工的方式进行工艺设计。由于其效率低、工艺方案因人而异、难以取得最佳的工艺方案等缺陷,难以适应当今制造业快速发展的生产需要。

应用 CAPP 可以编制出较为完整、详尽、优化的工艺方案和各种加工工艺,可极大地提高工艺人员的工作效率,缩短工艺准备时间,加快产品投放市场的速度。

CAPP 软件系统见图 1.5。

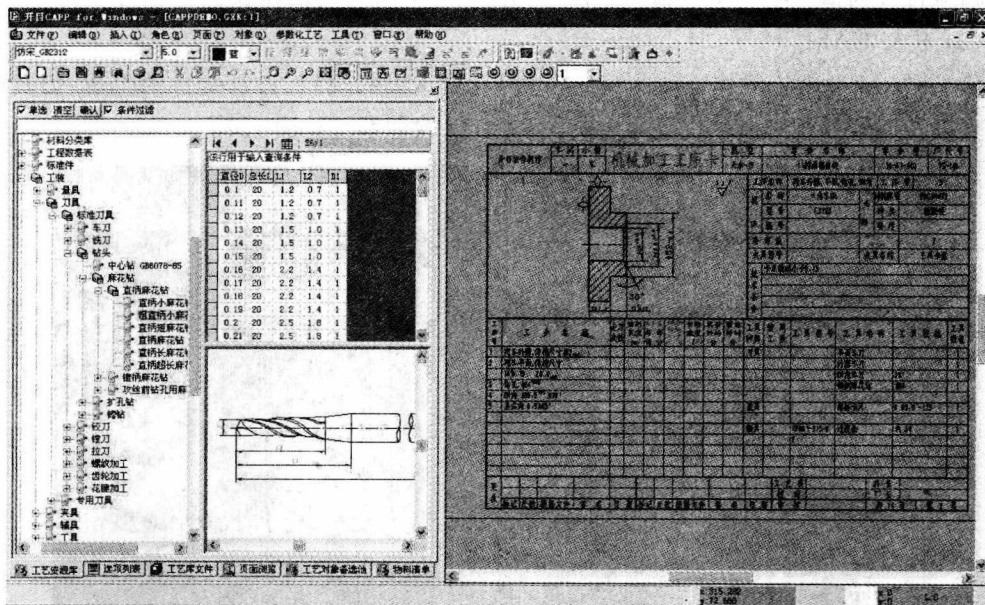


图 1.5 CAPP 软件系统

3. CAM

计算机辅助制造(CAM),指制造技术人员利用计算机技术进行数控加工或零件制造加工过程中的各项活动,如计算机辅助数控加工编程、制造过程控制、质量检测与控制等。

CAD 系统向 CAM 系统提供零件的几何信息等,CAPP 系统向 CAM 系统提供加工工艺信息和加工工艺参数等,CAM 系统根据 CAD 系统和 CAPP 系统的信息自动生成 NC(数

控)加工代码。

CAM 系统根据 CAD 系统的零件信息、CAPP 系统的加工工艺、加工工序等信息,运用加工设备、数据库和 CAM 软件等生成 NC 加工程序。

CAM 系统的功能模型见图 1.6。

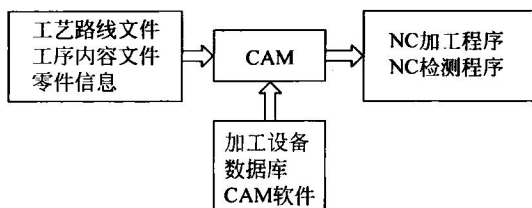


图 1.6 CAM 系统的功能模型

CAM 分为广义 CAM 和狭义 CAM。

(1) 广义 CAM

广义 CAM 是指利用计算机辅助技术完成从毛坯到产品制造过程中的直接和间接的各种活动,包括工艺准备、生产作业计划、物流过程的运行控制、生产控制、质量控制等内容。

工艺准备包括计算机辅助工艺规程设计、计算机辅助工装设计、NC 编程、计算机辅助工时定额和材料定额的编制等。

物流过程的运行控制包括物料的加工、装配、检验、输送、储存等。

(2) 狭义 CAM

狭义 CAM 通常指数控程序的编制,包括刀具路线的规划、刀具文件的生成、刀具轨迹的仿真以及后置处理和 NC 代码的生成等。CAM 软件系统见图 1.7。



图 1.7 CAM 软件系统

1.2 CAD/CAM 技术的发展概况

CAD/CAM 技术的发展与计算机技术的发展密切相关。

1946 年美国麻省理工学院(MIT)成功研制了世界上第一台电子计算机(见图 1.8),很多数值分析方法得以在计算机上完成,之后,人们不断将计算机技术引入设计与制造领域。

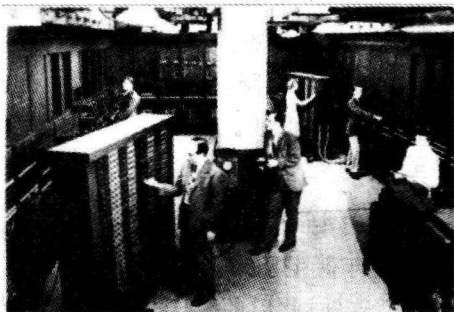


图 1.8 世界上第一台电子计算机

1.2.1 CAD 技术的发展概况

CAD 技术经历了 4 个发展阶段。

1. 形成期

1950 年美国麻省理工学院(MIT)研制了类似于示波器的图形设备“旋风 I 号”(Whirlwind I),可以显示简单图形,实现了图形的动态显示,结束了计算机只能处理字符数据的历史。旋风 I 号图形显示设备见图 1.9。

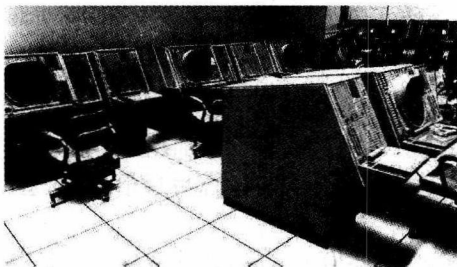


图 1.9 旋风 I 号(Whirlwind I)图形显示设备

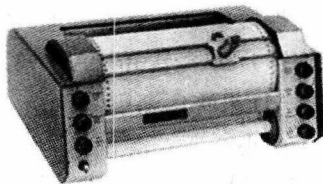


图 1.10 Calcomp 公司研制的第一台滚筒式绘图仪

20 世纪 50 年代,CAD 处于形成期,计算机大多采用电子管技术,软件用机器语言编程。计算机主要用于科学计算,配置的图形设备也仅具有输出功能,CAD 技术处于被动式的图形处理阶段。

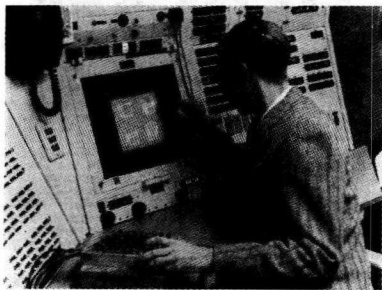


图 1.11 世界上第一套实时交互 SKETCHPAD 系统

2. 发展期

20 世纪 50 年代的后期出现了光笔,从而开始了交互式绘图,出现了屏幕菜单单击、功能键操作、光笔定位、图形动态修改等交互绘图技术。

1963 年美国 MIT 学者 I. E. Sutherland 的“人机对话图形通信系统”论文的问世,提出了世界上第一套实时交互的二维 SKETCHPAD 系统(见图 1.11)。该系统允许设计者操作光笔和键盘,在显示屏上显示图形,