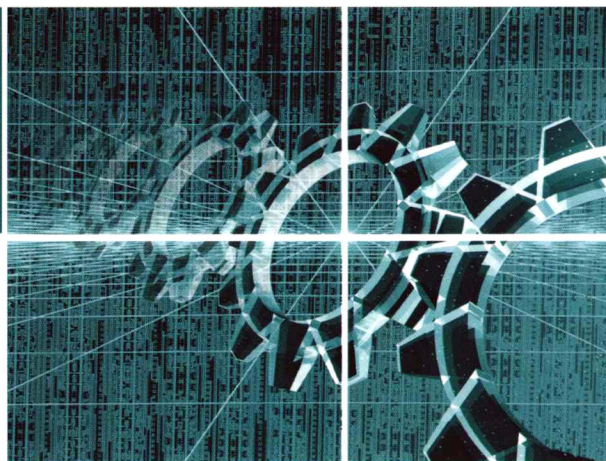


普通高等教育“十二五”规划教材



计算机辅助 设计绘图

第3版

张建军 主编
李爱荣 刘伟 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

计算机辅助设计绘图

第3版

主 编 张建军
副主编 李爱荣 刘 伟
参 编 戚开诚 田玉梅 商 鹏
主 审 张顺心



机械工业出版社

本书是为高等学校工科各专业的本专科学学生学习计算机绘图课程编写的教材,可单独使用,也可与《工程图学》教材配合使用,进行融合式教学。同时,可供工程技术人员、大中专学校教师及研究生参考。

本书以介绍绘图软件为主,并对计算机绘图的理论知识作了简单概述。在绘图软件部分,详细地介绍了 AutoCAD 2008 的二维绘图和三维绘图功能,并配以大量的操作实例,力求使读者在最短的时间内掌握该软件的主要功能。同时,本书也对 UG NX 4.0 的常用操作进行了介绍。

本书主要内容包括:计算机绘图概论;AutoCAD 2008 绘图软件的基本知识,基本绘图,图层、图块及其属性,尺寸标注,零件图、装配图及打印,三维绘图与实体建模;UG NX 4.0 概述与基础操作,草图及实体建模,曲线与曲面,装配设计及工程图。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助设计绘图/张建军主编. —3 版. —北京:机械工业出版社,2011.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-35654-7

I. ①计… II. ①张… III. ①计算机辅助设计-高等学校-教材
②计算机制图-高等学校-教材 IV. ①TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 168652 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:舒恬 责任编辑:舒恬 吴超莉 任正一

版式设计:霍永明 责任校对:刘怡丹

封面设计:张静 责任印制:杨曦

保定市中国美凯印刷有限公司印刷

2011 年 9 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17.75 印张·438 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-35654-7

定价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

第3版前言

本书是在第2版的基础上，结合几年来教材的使用情况及教学实践的经验进行修订的。

在此次修订中，我们基本延续了第1、2版的特点，即理论联系实际、强化三维绘图、实用性强等，在内容和实例上作了一些增减。本次教材编写采用 AutoCAD 2008 中文版，内容上删除了曲面建模。用 UG NX 4.0 绘图软件代替了 SolidWorks 2005 绘图软件。

本书由张建军任主编，李爱荣、刘伟任副主编。张建军（第一章，第四章，第七章），戚开诚（第二章），李爱荣（第三章，第六章），田玉梅（第五章），刘伟（第八章，第九章的第一、二、四节，第十一章），商鹏（第九章的三、五节，第十章）。

本书由河北工业大学张顺心教授主审，并提出宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者

第2版前言

本书是在第1版的基础上,根据计算机绘图技术发展的特点、为适应工程实践与应用的要求,结合几年来教学实践的经验修订的。

此次修订,我们基本沿用第1版理论联系实际、强化三维绘图、实用性强等特点,在内容和实例上作了一些调整,主要包括:

(1) 随着 AutoCAD 绘图软件版本的不断升级,AutoCAD 2002、AutoCAD 2004、AutoCAD 2005 相继开发,考虑到 AutoCAD 2004 中文版版本稳定,在用户中应用较广,故本书采用 AutoCAD 2004 中文版。

(2) 在 AutoCAD 2004 绘图软件部分增加了正等轴测图的绘制和图形打印。

(3) 删去了开目 CAD 绘图软件的内容。

(4) 鉴于 SolidWorks 软件应用较广,对 SolidWorks 2005 绘图软件的常用功能进行了介绍。

(5) 为适应“工程图学”课程现代教学要求,进一步强化三维绘图和造型能力,增加了一些三维绘图实例。

本书由张建军任主编,丁承君、张瑞红任副主编。其中,第一章、第四章由高金莲编写,第二章、第九章、第十章由丁承君编写,第三章、第十一章由张瑞红编写,第五章、第六章由刘淑英编写,第七章、第八章由张建军编写。

全书由河北工业大学张顺心教授主审,并提出宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者
2006 年 3 月

第1版前言

计算机辅助设计绘图是计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）的重要组成部分。由于它具有高速度、高效率、高精度等优越性，近年来在我国得到了迅速的推广、发展和应用，在工矿企业已逐步取代传统的手工绘图，成为工程图样绘制的主要手段。为适应技术的进步，满足高等学校教学和工程技术人员学习的需要，由河北工业大学工程图学教研室组织编写了本书。

本书以介绍绘图软件为主，同时兼顾计算机绘图的理论知识，做到理论与实践紧密结合。在绘图软件部分，详细地介绍了 AutoCAD 2000 的二维绘图和三维绘图功能，并配以大量的操作实例，力求使读者在最短的时间内掌握该软件的主要功能。同时，本书也对用户较多的国产绘图软件开目 CAD 进行了介绍。本书的主要特点为：

（1）**理论联系实际** 本书的指导思想是遵循高等教育的基本规律，树立以能力培养为主的思想，理论够用为度，强化实际操作，做到理论联系实际。

（2）**强化三维绘图** 随着现代制造技术的发展，三维图形在制造业中应用得越来越多，为此，本书较详细地介绍了 AutoCAD 2000 的三维绘图、实体造型功能，并配有操作实例，为学生 CAD/CAM 课程的学习及今后的工作打下坚实的计算机图形基础。

（3）**实用性强，便于自学** 本书的立足点是使读者能够尽快使用商品化绘图软件进行工程图样的绘制，为此，本书在介绍基本命令的同时，还详细地介绍了工程图样的绘图过程。主要章节后均配有练习题，便于读者上机实践。

本书由张顺心任主编，曹东兴、张建军任副主编。其中，第一章、第五章、第十章由张顺心编写，第二章、第三章由曹东兴编写，第四章由张瑞红编写，第六章、第七章由张满囤编写，第八章、第九章由张建军编写。

全书由天津大学焦法成教授、河北工业大学张振歧教授主审，并提出宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者
2002 年 8 月

目 录

第3版前言	
第2版前言	
第1版前言	
第一章 计算机绘图概论	1
第一节 计算机绘图发展概况及应用	1
第二节 计算机绘图系统	4
第三节 计算机绘图的理论基础简介	6
第四节 常见绘图软件简介	19
习题	20
第二章 AutoCAD 2008 绘图软件 的基本知识	21
第一节 软件特点	21
第二节 工作界面及绘图基础	22
第三节 绘图环境设置	30
习题	43
第三章 AutoCAD 2008 基本绘图	44
第一节 绘图命令	44
第二节 图形修改命令	53
第三节 文本标注	66
第四节 图案填充	70
第五节 绘图举例	72
习题	74
第四章 AutoCAD 2008 图层、图块及 其属性	76
第一节 图层	76
第二节 图块	81
第三节 属性	84
习题	87
第五章 AutoCAD 2008 尺寸标注	89
第一节 概述	89
第二节 尺寸标注命令	90
第三节 多重引线的创建和修改	94
第四节 利用对话框设计尺寸标注样式	101
第五节 编辑、修改尺寸标注	110
第六节 标注尺寸公差和形位公差	112
习题	114
第六章 AutoCAD 2008 绘制零件图、 装配图及打印	116
第一节 绘图环境的建立	116
第二节 零件图的绘制	119
第三节 装配图的绘制	122
第四节 图形打印	124
习题	128
第七章 AutoCAD 2008 三维绘图与 实体建模	131
第一节 三维绘图基础	131
第二节 基本实体建模	137
第三节 通过二维对象建模	140
第四节 三维实体的布尔操作	144
第五节 三维空间编辑操作	146
第六节 三维实体的编辑	151
第七节 三维建模实例	159
习题	163
第八章 UG NX 4.0 概述与 基本操作	165
第一节 UG NX 4.0 主要特点	165
第二节 UG NX 4.0 操作界面	165
第三节 UG NX 4.0 基本操作	168
第四节 设计初步	172
习题	175
第九章 UG NX 4.0 草图及 实体建模	176
第一节 草图操作	176
第二节 基本工具	185
第三节 基本成形	189
第四节 基准特征及体素特征	192
第五节 成形特征及特征编辑	199
习题	222
第十章 UG NX 4.0 曲线与曲面	223
第一节 曲线	223
第二节 曲面	232
习题	243
第十一章 UG NX 4.0 装配设计 及工程图	244
第一节 装配图	244
第二节 工程图简介	264
习题	275
参考文献	276

第一章 计算机绘图概论

第一节 计算机绘图发展概况及应用

一、计算机绘图的由来

工程图样是表达和交流设计思想的重要技术文件之一。传统的手工绘图效率低、劳动强度大,且绘图精度不易保证。随着科学技术的发展,产品的竞争日益激烈,要求在尽可能短的时间内完成新产品的设计。为大幅缩短设计周期和提高设计质量,工程界一直在探索新的绘图方法。计算机是一种能自动、高速进行大量数据处理和运算的电子设备,可实现数字和图形之间的转换,为自动绘图提供了有效工具。

计算机绘图(Computer Drawing)是随着计算机科学迅速发展而形成的一门交叉学科,它在图形学、应用数学和计算机科学有机结合的基础上,应用计算机及图形输入/输出设备,实现图形的设计、显示和输出,是计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)的重要组成部分。计算机绘图主要研究二维和三维图形的定义、存储、处理及访问,并提供图形输出的全过程。

二、国内外计算机绘图的发展概况

1958年,美国格伯(Gerber)科学仪器公司根据数控机床的工作原理,生产了世界上第一台平台式自动绘图机。与此同时,美国加利福尼亚州计算机制造公司(Calcomp公司)根据打印机的工作原理研制了世界上第一台滚筒式绘图机。1963年,麻省理工学院林肯实验室的E Ivan Sutherland发表了一篇题为“Sketchpad:一个人—机通信的图形系统”的博士论文,他在论文中首次使用了“Computer Graphics”这个术语,证明了交互式计算机图形学是一个可行的、有用的研究领域,从而确立了计算机图形学作为一个崭新的科学分支的独立地位。到20世纪60年代中期,各发达国家大专院校和科研机构均开展了大规模的研究,从而使计算机绘图进入了蓬勃发展并逐步得到广泛应用的时期。20世纪70年代以后,随着计算机系统、图形输入/输出设备的迅速发展和更新,计算机系统软件和图形软件功能的不断完善,交互式的计算机绘图不仅在军事、科研、工业上得到应用,还在教育、商业、艺术、管理等许多领域得到了广泛的应用。

我国从1967年就开始进行计算机绘图设备的研究,并先后在上海和呼和浩特成功研制了LZ—5型和MSB—1型平台式小型绘图机,1976年在上海试制成功了具有20世纪70年代初期国际水平的HTJ—1855型大型数控绘图机。目前,随着科学技术的迅速发展,国内对绘图系统的需求日益增加。在引进国外绘图设备的同时,国内已有多家工厂生产多种规格和型号的绘图设备。这些设备不仅有滚筒式和平板式绘图机,还有平面电动机驱动的绘图机和彩色喷墨绘图机,输出的图形不仅具有不同的阴影区和明暗面,还具有立体感及三维彩色图像的特殊功效,适用于地理、地貌描述,地质岩层剖面、遥感、遥测、气象、医学等复杂曲面的图像处理。

在绘图软件系统方面,我国也取得了可喜的成果。自 20 世纪 80 年代以来,国家安排了许多 CAD 重点攻关项目,通过引进、消化、提高、转化,先后有多家公司推出了具有我国独立版权的商品化计算机绘图软件和 CAD 软件。这些软件符合我国工程技术人员绘图习惯,操作方法简单易学,并且具有完备的、全面开放的、符合我国标准的工程图形数据库、常见结构及标准件图库,全面开放的参数化的子图库、系列件图库,其操作的简易化、功能的智能化,使绘图时间大为缩短,已逐步被广大企业所接受。

三、计算机绘图的应用

近 20 年来,由于计算机硬件及绘图设备功能的不断增强以及绘图系统软件的不断完善,计算机绘图已渗透到许多行业,并得到广泛的应用。目前,主要的应用领域有:

(1) 计算机辅助设计及制造 (CAD/CAM) 这是计算机绘图应用最为广泛、最为活跃的一个领域。据统计,在所有的 CAD 系统中,计算机辅助绘图的工作量占 53%,辅助设计占 30%,辅助分析占 7%,辅助制造占 10%。由此可见,计算机绘图是 CAD/CAM 领域中极为重要的组成部分。计算机绘图被应用于航空、造船、电子、机械、土木建筑等工程设计领域。计算机绘图可产生部件或结构的精确图样,也可对所设计的系统和部件的图形实现人一机交互设计和布局。计算机绘图的结果数据可直接输出零部件明细表、材料单以及数控加工的数据信息。

(2) 模拟及动画仿真 利用计算机可模拟物体随时间变化的动画图形,且应用越来越广泛。利用这一技术可研究许多对象的数学模型,如水流、核反应、化学反应、物体结构在负载下的变形、物体运动的仿真等。利用计算机产生的动画片,不仅具有很高的艺术价值,而且具有极高的实用效果。如利用动画技术产生的飞行模拟、汽车碰撞、地震破坏等,不仅可以提供逼真的场景画面和可靠的数据,还可以为这些试验提供真正安全、迅速和廉价的试验条件及比较、存储资料的手段。

(3) 科学、技术及事务管理 计算机绘图可以用来绘制数学、物理或经济信息的各类二、三维图表,如统计用的直方图、扇形图等,这些图表用简明形象化的方式提供数据的变化规律。

(4) 地质、地震、测量、海洋及气象工程等 计算机绘图被广泛应用于绘制地理、地质以及其他自然现象的高精度勘探、测量图形,例如地理图、地形图、矿藏分布图、海洋地理图、气象图等。

(5) 过程控制 利用计算机显示的图像和数据实现与其控制或管理对象间的相互作用。如对石油化工、金属冶炼和电力网的设备运行过程进行监视和控制,机场的飞行控制人员和铁路上的调度人员可以通过计算机产生的运行状态图来有效、迅速和准确地调度、调整空中交通和铁路运输。

(6) 艺术、服装和商业 利用计算机产生或绘制艺术品的图案,如各种美丽、悦目的图案、花纹,甚至是传统的油画和中国画等。在印染纺织行业,用于花色设计、配料、排料和裁剪、服装图绘制等。当然,计算机绘图也被用于进行各种商业广告和图案设计等。

(7) 计算机辅助教学 (CAI) 在教学中,利用计算机的图形显示可以产生直观、生动的图像,使教学和解题过程形象化,极大地提高了学生的学习兴趣,教学效果良好。

计算机绘图还有许多其他的应用领域,如在医学方面,与超声波和 X 光技术结合,用来绘制人体内脏横切面图,为准确诊断和治疗提供了更为形象和直观的手段。在农业、

体育、办公自动化等方面,凡是用到图形绘制和显示的地方,都会涉及计算机绘图。计算机绘图给传统的设计制图带来重大变革,其经济技术效益十分显著,有着广泛的应用前景。

四、计算机绘图的发展趋势

当前,计算机绘图已被许多领域广泛应用,标准化、集成化、智能化、网络化是计算机绘图技术的主要发展趋势。

(1) 标准化 随着计算机及其图形输入、显示技术的发展,以及绘图设备性能的不断提高,图形处理应用范围不断拓展,计算机绘图已渗透到科研、生产、教学和社会的各个方面。为了缩短图形软件研制周期,降低研制成本,便于使用并能在不同的系统间相互移植,开展计算机图形学标准化方面的研究,制定图形处理的标准是本学科发展的一个方向。目前,已推出了许多标准和规范,如 GKS (Graphics Kernel System, 计算机图形核心系统) 用于建立应用程序和图形输入/输出设备的功能接口; IGES (Initial Graphics Exchange Specification, 基本图形转换规范) 用于 CAD 系统之间交换数据; PDES (Product Data Exchange Specification, 产品数据交换规范) 是美国制定的产品数据交换标准; STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data, 产品模型数据交换标准) 是产品模型数据交换技术的国际标准,以实现在产品生命周期内对产品数据进行完整一致的描述与数据交换。

(2) 集成化 集成化是向企业提供一体化的解决方案。通过集成能最大限度地实现企业信息共享,建立新的企业运行方式,提高生产效率。集成系统由原来的单一功能变成组合功能,将包含计算机绘图的 CAD、CAPP (计算机辅助工艺规程)、CAM (计算机辅助制造) 组合在一起,形成 CAD/CAPP/CAM 系统。在这样的系统中,设计师可以利用计算机进行运动分析、动力分析、应力分析,确定零部件的合理结构形状,使设计的数据可用来控制数控机床的加工制造。设计与制造更高层次的集成是计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS), 通过计算机优化和控制产品的规划、设计、制造、检验、包装、运输、销售等各个环节,以期实现产品生产的高度自动化。此外,将符合国际标准或很成熟的软件和算法用集成电路来实现,可使处理速度大幅度提高。目前,许多算法特别是图形显示算法都已进行了固化。

(3) 智能化 人工智能领域的研究成果已广泛应用于计算机绘图技术中。商品化绘图软件已具有自动导航、自动对齐和捕捉、自动标注、尺寸驱动和几何驱动等智能化功能,并正逐步完善和提高。在 CAD 系统方面,传统的系统虽然在产品设计、分析、计算和绘图等方面发挥了重要作用,但并不适用于产品设计的整个周期,特别是在产品的概念设计阶段,由于从抽象到具体实现极为困难,需要根据专家丰富的经验与知识作出合理的判断与决策。而智能 CAD 系统具有模仿人的处理过程和技巧的能力,所以在处理概念设计、自适应设计系统等方面具有突出的优点,因此,已有不少学者和公司进行这方面的研究和开发工作。

(4) 网络化 计算机技术和通信技术的相互渗透、密切结合,产生了计算机网络,可以通过通信线路将各自独立的、分布于各处的计算机相互连接起来,这些计算机彼此可以通信,从而能有效地共享资源并协同工作。网络技术的发展,大大地增强了 CAD 系统的能力。

第二节 计算机绘图系统

一、计算机绘图系统的构成

计算机绘图系统是一个以计算机为主，并配有相应的外围设备和图形软件，不但具有数值处理能力，同时还具有图形输入、生成和输出等能力的一个完整的系统。具有人机对话功能的绘图系统称为交互式计算机绘图系统。

计算机系统一般由硬件系统和软件系统构成，一套完整的计算机绘图系统同样是由硬件系统和软件系统构成的。计算机绘图系统的硬件系统除必备的计算机外，还应包括图形输入和图形输出等外围设备，如图形显示器、绘图机等。计算机绘图系统的软件系统通常分为图形系统、数据库或文件管理系统、应用程序。图形系统应能提供对图形的数据描述，即定义物体的几何坐标数据、物体的属性（如线型、颜色等）及物体各部分连接关系的坐标数据，同时应提供与外围设备相关的驱动程序及开发应用程序的支持程序（又称接口程序）。数据库或文件管理系统则可以永久保留被显示的图形信息及与图形生成和应用相关的支持数据。应用程序主要是为处理用户的特定问题而设计的，具有一定的专用性。它可以从图形系统中取出数据存入数据库或文件中，也可以从数据库或文件中提取信息加以处理，或直接送入图形系统中。同时还可向图形系统传送图形处理命令，说明物体的几何特征，并能调用一系列绘图子程序生成图形，显示在图形显示器上。图 1-1 说明了计算机绘图系统的基本组成及各部分之间的相互关系。

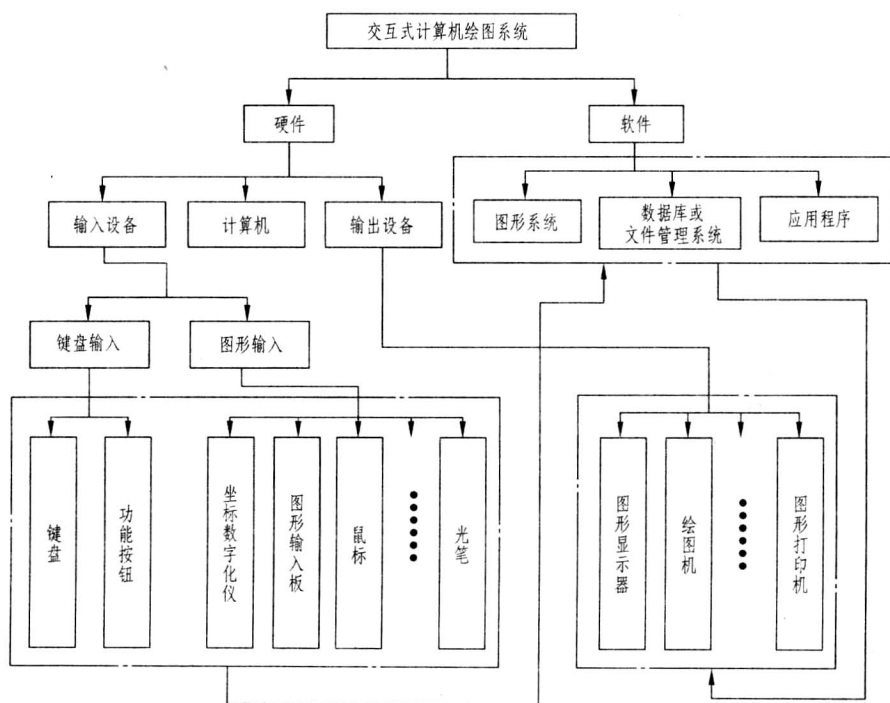


图 1-1 交互式计算机绘图系统的基本组成

计算机绘图系统应具有计算、存储、对话、输入和输出等功能。

(1) 计算功能 应包括形体设计、分析的方法程序库和有关描述形体的图形数据库。在图形数据库中应有坐标的几何变换、曲线和曲面的形成、图形交点和连接点计算以及检验等功能。

(2) 存储功能 能在存储器中存放图形数据,尤其是要存放图形数据之间的相互关系,可根据设计人员的要求实现有关信息的实时拾取,图形的变更、增加、删除等处理。

(3) 对话功能 通过图形显示器直接进行人一机通信。设计人员通过显示屏观察设计的结果和图形,通过键盘或鼠标等对不满意的部分发出修改指令。

(4) 输入功能 把设计过程中的图形形状、尺寸、必要的参数和命令等输入计算机。

(5) 输出功能 把计算机的工作结果或回答的信号以一定的形式表现出来。

这五种功能是计算机绘图系统所具备的最基本功能,至于每种功能具有哪些能力,则因系统不同而不同。

二、常见的图形输入/输出设备

图形输入/输出设备是实现人与计算机之间交换图形信息的设备。图形输入设备将用户的图形数据、绘图系统的指令等以计算机能识别的形式送入计算机,常见的图形输入设备有鼠标器、光笔、坐标数字化仪和图形输入板等。图形输出设备将计算机处理好的结果数据转换成可见的图形呈现在用户面前,常见的图形输出设备有图形显示器、打印机和绘图机等。下面简单介绍一下常见的绘图机。

(1) 滚筒式绘图机 滚筒式绘图机由两台步进电动机分别驱动绘图纸和绘图笔运动。绘图纸紧紧缠绕在由电动机直接驱动的滚筒上,随滚筒一起转动。笔架由另一台电动机驱动,沿滚筒轴向移动。两者构成 X 、 Y 方向运动,控制滚筒的转动和笔架的移动,从而画出图形。这种绘图机结构简单,价格便宜,易于操作,但精度不高、速度较慢,且要求标准的图纸。其结构示意图如图1-2所示。

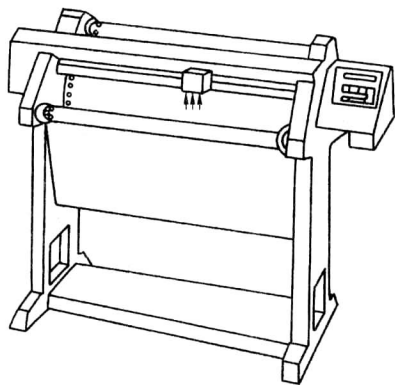


图 1-2 滚筒式绘图机的结构示意图

(2) 平台式绘图机 平台式绘图机的特点是绘图纸平铺在台面上,笔架可在 X 、 Y 两个方向运动,笔架上可装多支不同颜色的绘图笔,笔的起落、更换由专门的电路控制。绘图纸以真空吸附或静电吸附的方式固定在平台上,笔架的驱动有步进电动机、伺服电动机、直线电动机或平面电动机等多种方式。常见的平台式绘图机有两种,一种是平面电动机驱动的绘图机,另一种是步进电动机驱动、机械传动的绘图机,分别如图1-3和图1-4所示。这类绘图机绘图速度快、精度高,绘图的幅面大,并配有多支绘图笔,绘图时可观察全图;但相对占地面积大,价格昂贵。

(3) 喷墨绘图机 喷墨绘图机的喷墨装置多数情况下是安装在类似打印机的机头上,纸则绕在滚筒上并随之加速旋转,喷墨头利用电场偏转、磁场偏转或机械偏转等方式控制墨水的喷射方向,用控制电荷或控制电场等方式控制墨水滴的产生。这类绘图机有彩色和黑白两种,是目前使用最多的一种绘图机。某些喷墨绘图机可以接受视频及数字信号,因此可用于光栅显示屏幕的硬拷贝,此时图像的分辨率受到视频输入分辨率的限制。旋转式喷墨绘图

机的结构示意图如图 1-5 所示。

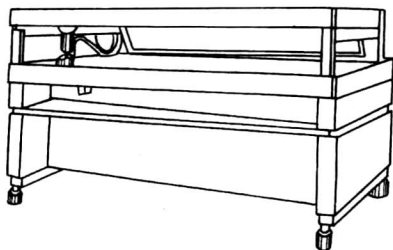


图 1-3 平面电动机驱动的绘图机

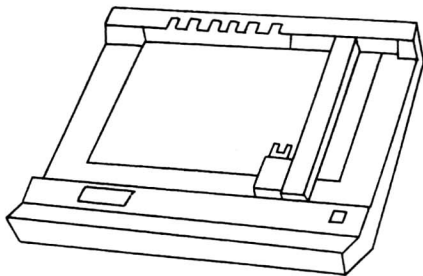


图 1-4 机械传动式绘图机

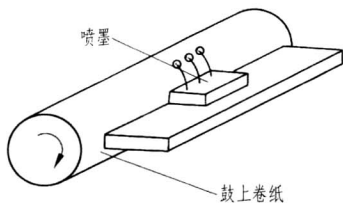


图 1-5 旋转式喷墨绘图机的结构示意图

第三节 计算机绘图的理论基础简介

一、屏幕绘图

图形显示器与主机的连接是通过显示卡实现的。若希望进行彩色图形显示,则必须通过彩色图形显示卡,彩色图形显示卡的设置可使计算机实现对屏幕图形的操作。图形显示卡是一块配置一定数量电器元件的印制电路板,它插入计算机主板上的一个扩展槽中。

在开发图形应用软件时,用户应较好地利用机器硬件提供的各种图形显示功能。系统软件通过各种不同的形式向用户提供了一系列用于图形显示的例行程序。这种提供给用户直接使用的具有最基本图形显示功能的例行程序称为图形显示原语。图形显示原语是用户应用程序和图形显示硬件的接口。

计算机具有较强的屏幕显示功能,其配备的操作系统可方便地使用 C 语言等高级语言进行程序的编辑、编译、连接、运行等操作,且又有着丰富的图形功能,这样,就能在计算机的显示屏幕上绘制出各种平面图形和立体图形。

计算机系统可采用高级语言的图形功能,包括画点、直线、圆或圆弧、椭圆或椭圆弧等绘图命令,建立用户坐标系,对图形区域进行放大、缩小、剪切、移动,设置多个视见区,对图形区域进行着色、填充及动画设计等。

二、图形的矩阵变换

计算机绘图时,常常要对图形进行放大、缩小、平移、旋转、反射或错切。这种把几何图形按照某种规律或法则构造造成另一个几何图形的过程称为图形变换。通过各种图形变换,可由简单图形得到复杂图形;也可将三维立体用二维图形描述;甚至能使静态图形获得动态图形的效果。因此,图形变换是计算机绘图的一个重要内容。

(一) 点的向量表示法及变换矩阵

1. 点的向量表示法

在二维空间内, 一个点的位置可以用它的二维坐标来描述。根据线性代数的理论, 这组坐标值可以表示为一个一行两列矩阵 (x, y) 或两行一列矩阵 $(x, y)^T$ 。在三维空间内, 点的位置可用三维坐标来描述。这组坐标值可以表示为一个一行三列矩阵 (x, y, z) 或三行一列矩阵 $(x, y, z)^T$ 。行矩阵如 (x, y) 或列矩阵如 $(x, y)^T$ 通常称为向量。 x 和 y 为这个向量沿相应坐标轴方向的分量。二维图形中点的位置, 可相对某坐标系用点的向量来描述, 故又称点的向量为位置向量。图形的点集可用一个数字矩阵表示, 如图 1-6 中三角形三个顶点的坐标可记为矩阵形式

$$\begin{matrix} A & \begin{pmatrix} x_1 & y_1 \end{pmatrix} \\ B & \begin{pmatrix} x_2 & y_2 \end{pmatrix} \\ C & \begin{pmatrix} x_3 & y_3 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

它表示点集坐标的数字矩阵, 一般均用数组的形式存储在计算机内。

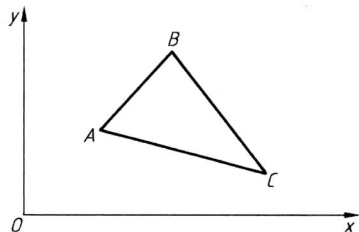


图 1-6 三角形

2. 变换矩阵

设矩阵 A 表示一个点或一组点的位置向量, 另有一矩阵 T 与矩阵 A 相乘, 即

$$AT = B$$

乘积 B 为一新矩阵, T 为变换矩阵, B 为矩阵 A 与 T 相乘后的位置向量。如二维空间一点的位置向量为

$$A = (x, y)$$

变换矩阵为

$$T = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$$

则

$$AT = (x, y) \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = (ax + cy, bx + dy) = (x^*, y^*)$$

故

$$\begin{aligned} x^* &= ax + cy \\ y^* &= bx + dy \end{aligned}$$

显然, 变换后的坐标 (x^*, y^*) 是由变换矩阵 T 中各元素决定的。下面仅就二维图形的几种变换进行讨论。

(二) 二维图形的基本变换

1. 恒等变换

若变换矩阵 T 的主对角线元素 $a = d = 1$, 而其余各元素 $c = b = 0$, 则变换矩阵 $T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ 是单位矩阵, 此时二维空间点 $P(x, y)$ 的变换结果为

$$PT = (x, y) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = (x, y) = (x^*, y^*) = P^*$$

即 $x^* = x, y^* = y$ 。

由此可见, 点 P 的位置在变换前、后没有发生变化, 故单位矩阵又称恒等变换矩阵。由于点的坐标在恒等变换前、后没有变化, 所以对二维图形进行恒等变换时, 其图形仍保持不变。

2. 比例变换

若变换矩阵 $T = \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & d \end{pmatrix}$, 对点 $P(x, y)$ 变换后, 其结果为

$$PT = (x, y) \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & d \end{pmatrix} = (ax, dy) = (x^*, y^*) = P^*$$

即 $x^* = ax, y^* = dy$ 。

在点 P 产生两个方向的比例变换, 变换后点的坐标为原坐标各乘以一个比例因子。若 $a \neq d$, 则点 P 沿 x 轴和 y 轴两个方向伸缩率不同; 若 $a = d \neq 1$, 则点 P 沿两轴方向伸缩率相等。这个变换使二维图形沿 x 和 y 轴方向放大或缩小, 故称其为比例变换。

3. 反射变换

反射变换又称对称变换, 是指变换后的点与变换前的点对称于 x 轴、 y 轴、 45° 线或原点。平面图形的反射变换亦是如此。

(1) 对 x 轴反射 变换矩阵 $T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$, 点 $P(x, y)$ 对 x 轴反射变换为

$$PT = (x, y) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} = (x, -y) = (x^*, y^*) = P^*$$

即 $x^* = x, y^* = -y$ 。

矩形 $ABCD$ 对 x 轴的反射变换 (见图 1-7) 为

$$\begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 20 & 0 \\ 20 & 15 \\ 0 & 15 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 20 & 0 \\ 20 & -15 \\ 0 & -15 \end{pmatrix} \begin{matrix} A^* \\ B^* \\ C^* \\ D^* \end{matrix}$$

(2) 对 y 轴反射 对 y 轴反射与对 x 轴反射类似, 变换矩阵 $T = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, 点 $P(x, y)$ 对 y 轴的反射变换后得到 $P^*(x^*, y^*)$, 其中 $x^* = -x, y^* = y$ 。

矩形 $ABCD$ 对 y 轴的反射变换 (见图 1-8) 为

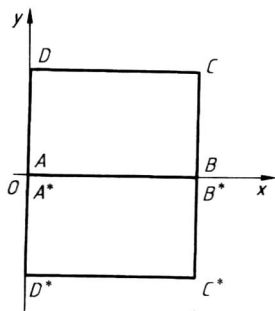


图 1-7 对 x 轴反射

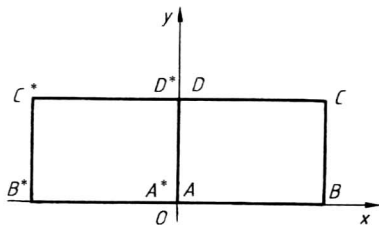


图 1-8 对 y 轴反射

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 20 & 0 \\ 20 & 15 \\ 0 & 15 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -20 & 0 \\ -20 & 15 \\ 0 & 15 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A^* \\ B^* \\ C^* \\ D^* \end{pmatrix}$$

(3) 对 45° 线反射 变换矩阵 $T = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$, 点 $P(x, y)$ 对 45° 线的反射变换为

$$PT = (x, y) \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = (y, x) = (x^*, y^*) = P^*$$

即 $x^* = y, y^* = x$ 。

平面图形 (见图 1-9) 对 45° 线的反射变换为

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 20 & 10 \\ 30 & 10 \\ 30 & 20 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 20 \\ 10 & 30 \\ 20 & 30 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A^* \\ B^* \\ C^* \end{pmatrix}$$

(4) 对 -45° 线反射 对 -45° 线反射与对 45° 线反射类似, 变换矩阵 $T = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$, 点 $P(x, y)$ 对 -45° 线的反射变换后得到 $P^*(x^*, y^*)$, 其中 $x^* = -y, y^* = -x$ 。

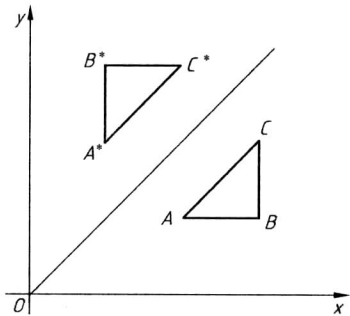


图 1-9 对 45° 线反射

(5) 对原点反射 变换矩阵 $T = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$, 则点 P

(x, y) 的变换结果为

$$PT = (x, y) \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} = (-x, -y) = (x^*, y^*) = P^*$$

即 $x^* = -x, y^* = -y$ 。

4. 旋转变换

点 $P(x, y)$ 绕坐标原点旋转 θ 角, 其变换矩阵 $T = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$, 旋转变换为

$$PT = (x, y) \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} = (x\cos\theta - y\sin\theta, x\sin\theta + y\cos\theta) = (x^*, y^*) = P^*$$

$$\text{即 } \begin{cases} x^* = x\cos\theta - y\sin\theta \\ y^* = x\sin\theta + y\cos\theta \end{cases}$$

平面图形的旋转变换是指坐标轴不动, 点或图形绕坐标原点旋转 θ 角。规定逆时针旋转 θ 角取正值, 顺时针旋转 θ 角取负值。

例 1-1 将图 1-10 中的长方形 $ABCD$ 绕坐标原点逆时针旋转 30° , 其顶点的原始坐标为 $A(0, 0), B(20, 0), C(20, 15), D(0, 15)$, 求旋转变换后的顶点坐标。

解 变换矩阵 $T = \begin{pmatrix} \cos 30^\circ & \sin 30^\circ \\ -\sin 30^\circ & \cos 30^\circ \end{pmatrix}$,

$$\begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 20 & 0 \\ 20 & 15 \\ 0 & 15 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos 30^\circ & \sin 30^\circ \\ -\sin 30^\circ & \cos 30^\circ \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 17.32 & 10 \\ 9.82 & 22.99 \\ -7.5 & 12.99 \end{pmatrix} \begin{matrix} A^* \\ B^* \\ C^* \\ D^* \end{matrix}$$

长方形 $ABCD$ 逆时针旋转 30° 后, 其顶点坐标为 A^* $(0, 0)$, B^* $(17.32, 10)$, C^* $(9.82, 22.99)$, D^* $(-7.5, 12.99)$, 如图 1-10 所示。

5. 错切变换

变换矩阵 T 中的主对角线元素为 1, 次对角线只有一个元素为零时, 产生错切变换。下面以沿 x 方向错切为例进行介绍。

变换矩阵 $T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ c & 1 \end{pmatrix}$, 点 $P(x, y)$ 沿 x 方向的错切

变换为

$$PT = (x, y) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ c & 1 \end{pmatrix} = (x + cy, y) = (x^*, y^*) = P^*$$

即 $x^* = x + cy$, $y^* = y$ 。

变换后 y 方向的坐标不变, x 方向的坐标依赖初始坐标 (x, y) 线性地变化, $x^* = x + cy$, 其几何概念是与 y 轴平行的直线均向 x 方向倾斜, 且与 y 轴成 θ 角 ($\tan \theta = c$), 而 $y=0$ 的点不动。若 $c > 0$, 则沿正 x 方向错切; 若 $c < 0$, 则沿负 x 方向错切。

如图 1-11 所示, 正方形的错切变换为

$$\begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 15 & 0 \\ 15 & 15 \\ 0 & 15 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 15 & 0 \\ 45 & 15 \\ 30 & 15 \end{pmatrix} \begin{matrix} A^* \\ B^* \\ C^* \\ D^* \end{matrix}$$

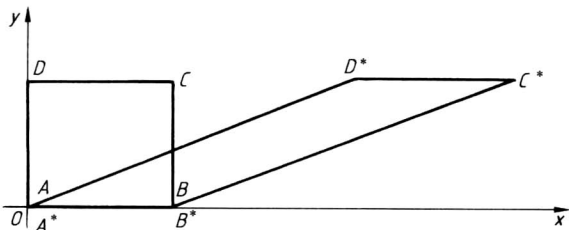


图 1-10 旋转变换

图 1-11 沿 x 方向错切

沿 y 方向错切与沿 x 方向错切类似, 在此不再赘述。

6. 平移变换

二维图形中点的平移变换结果为

$$x^* = x + l, y^* = y + m$$

其中, l 为点沿 x 方向的平移参数, m 为点沿 y 方向的平移参数。