

方 遼 等编著

曲线曲面设计技术 与显示原理

7
9

国防科技大学出版社

曲线曲面设计技术 与显示原理

方 远 周经伦
王兴波 赵 军

编著



国防科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

曲线曲面设计技术与显示原理/方逵,周经伦,王兴波,赵军
编著—长沙:国防科技大学出版社,1997.2

ISBN 7-81024-398-5

- I 曲线曲面设计技术与显示原理
- Ⅱ 方逵,周经伦,王兴波,赵军
- Ⅲ ①曲线曲面 ②图形显示
- Ⅳ O242.2

责任编辑:卢天颢

责任校对:石少平

封面设计:陆荣斌

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4555681 邮政编码:410073

新华书店总店北京发行所经销

湖南大学印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张:9.25 字数:232千
1997年2月第1版第1次印刷 印数:1-2000册

ISBN 7-81024-398-5

O·53 定价:12.00元

内容提要

本书是讲述曲线曲面设计技术和显示原理的一本著作。本书的主要特点是：将计算机辅助几何设计和计算机图形显示技术相结合，既有算法理论又有应用实践。本书分为概述，直线和圆的显示原理，一般参数曲线曲面，图形的变换原理，Bézier 曲线曲面，B 样条曲线曲面，有理曲线曲面，等距曲线曲面，裁剪与消隐，应用软件介绍共 10 章。

本书可作为应用数学、计算数学、计算机应用、机械制造、工艺美术、航空、造船等专业的本科生教材，也可供从事计算机辅助几何设计、计算机图形学、计算机辅助设计与制造等方面工作的研究生和工程技术人员参考。

前 言

科学技术发展的一个普遍规律是各门学科之间的相互渗透与沟通。随着计算机应用的日益广泛,计算机辅助几何设计技术与计算机图形显示技术也取得了长足的进步,这两种技术的界限也变得不那么清晰。现在,越来越多的研究人员更加重视这两种技术的综合应用。

计算机辅助几何设计技术研究的主要内容是曲线和曲面在计算机中的表示、逼近和计算,也即研究适合于计算机描述的曲线和曲面的数学方法。这一技术已广泛应用于几何外型设计、动画、艺术图案的创作和地形图复原等。计算机图形显示技术研究的主要内容是用计算机生成、处理和显示图形。本书侧重讨论怎样将数据和几何模型转化为图形。

计算机辅助几何设计与计算机图形显示的综合应用——曲线曲面设计技术和显示原理涉及到微分几何、函数逼近论、计算机图形学、分形几何学以及程序设计等方面的知识。

本书主要讲述曲线曲面设计的一般理论和计算机图形显示的基本原理,注重理论实践相结合,并提供了用 Turbo C 2.0 编写的有关典型方法的程序。本书最后还介绍了与之相关的两个著名软件 AutoCAD 和 3DSTUDIO。

在本书的编写过程中,得到了许多领导、学者、同行和朋友的支持和帮助,在此表示感谢。其中王志刚、卢世荣、吴涛同志在

将书稿输入计算机方面做了大量的工作,本书的出版还得到国防科技大学出版社的支持,作者在此谨表谢意。

由于作者水平有限,本书难免存在不少谬误,敬请读者批评指正。

作 者

1996年6月

目 录

第一章 概论	(1)
§ 1 计算机辅助几何设计概述	(1)
§ 2 计算机图形显示的发展历史及其应用	(2)
§ 3 计算机图形显示系统组成及其原理	(6)
§ 4 实用程序	(21)
第二章 直线和圆的显示原理	(31)
§ 1 图形显示知识	(31)
§ 2 参数方程产生直线法	(32)
§ 3 产生直线的数值微分法	(33)
§ 4 正负法产生直线	(35)
§ 5 用 Bresenham 算法生成直线	(37)
§ 6 产生圆的正负法	(40)
§ 7 用 Bresenham 算法生成圆	(42)
第三章 一般参数曲线曲面	(45)
§ 1 矢量函数	(45)
§ 2 参数曲线基本理论	(51)
§ 3 参数曲面基本理论	(76)
第四章 图形的变换原理	(93)
§ 1 齐次坐标系	(93)
§ 2 二维图形几何变换及矩阵表示	(94)
§ 3 用户坐标到屏幕坐标的变换	(102)
§ 4 三维图形几何变换及矩阵表示	(103)
§ 5 三维图形的投影	(110)
§ 6 三维图形透视投影变换	(116)
§ 7 三维立体造型中的拉厚度法	(124)

第五章	Bézier 曲线曲面	(127)
§ 1	Bézier 曲线及其性质	(127)
§ 2	Bézier 曲线在 CAD 中的应用	(143)
§ 3	Bézier 曲面及其性质	(154)
§ 4	Bézier 曲面在 CAD 中的应用	(165)
第六章	B 样条曲线曲面	(175)
§ 1	B 样条函数及其性质	(175)
§ 2	B 样条曲线及其性质	(179)
§ 3	均匀 B 样条曲线	(186)
§ 4	插值 B 样条曲线	(192)
§ 5	B 样条曲面及其性质	(198)
§ 6	插值 B 样条曲面——反算法	(204)
§ 7	程序实例	(206)
第七章	有理 B—B 曲线曲面	(216)
§ 1	有理 Bézier 曲线及其应用	(216)
§ 2	有理 B 样条曲线	(224)
§ 3	有理 B—B 曲面	(228)
第八章	等距曲线曲面	(232)
§ 1	等距曲线及其应用	(232)
§ 2	等距曲面及其应用	(242)
第九章	裁剪与消隐	(246)
§ 1	直线的裁剪	(247)
§ 2	多边形的裁剪	(250)
§ 3	凸多面体的消隐	(252)
§ 4	曲面的消隐	(254)
第十章	应用软件介绍	(265)
§ 1	计算机辅助设计 AUTOCAD 简介	(265)
§ 2	三维动画制作软件 3D STUDIO 简介	(275)

第一章 概论

§ 1 计算机辅助几何设计概述

经典微分几何研究的是曲线曲面的局部性质和几何不变性. 计算机的诞生标志着复杂曲线曲面的计算可以在计算机上实现. 而计算机显示技术的发展又使曲线曲面能在屏幕上显示真正面目. 20 世纪 60 年代末和 70 年代初, 法国雷诺汽车公司的工程师 Bézier 和美国麻省理工学院的 Coons 教授开展的曲线曲面设计工作开创了一个新的学科——计算机辅助几何设计.

计算机辅助几何设计主要研究曲线曲面的计算机表示、逼近和计算. 在工程领域, 曲线曲面应用十分广泛, 大到汽车外形设计, 飞机机身设计, 船舶船体设计, 小到电话机座的设计等; 从实质上看, 它们都是曲线曲面的设计. 传统的方法大都是靠手工放样来实现, 效率低、精度差, 且修改困难, 不能适应现代化工业发展的需要. 如果借助于计算机来辅助曲线曲面设计, 不但速度快、精度高, 而且还能在屏幕上显示出来, 通过人机交互方式, 曲线曲面的修改十分方便. 因此, 用计算机辅助设计可以大大缩短设计周期, 提高设计精度, 加快产品的更新换代.

在曲线曲面设计中, 像圆、球、圆锥这样的规则几何体一般可用精确的函数来描述, 很适合于计算机表示. 但是, 在大多数情况下, 曲线曲面形状复杂, 难于用数学式表示, 特别是自由曲线曲面, 困难更大. 因此, 研究怎样建立适合于计算机描述的数学模

型, 以及这些数学模型的有效算法是本书的核心内容之一. 目前, 曲线曲面的设计方法主要有 Coons 方法、Bézier 方法、B 样条方法. Coons 方法的主要思想是把一张复杂曲面用若干小曲面片表示, 适当地选择曲面片的方程式, 并通过曲面片之间的光滑拼接, 使之能表示各种复杂形状, 并达到所需要的任意精确度. Bézier 方法就是采用几何控制的方法, 通过有限个控制点来设计轮廓线. 1962 年, Bézier 把他的方法提出来, 当时主要用于曲线曲面的构造. 后来雷诺公司以此为基础, 发展了一种设计自由曲线曲面的几何设计系统 UNISURF 系统, 并于 1972 年正式使用. B 样条方法是 1972 年由美国的 Riesenfeld 等人在 Bézier 方法的基础上拓广、发展起来的一种样条方法. 它是从 B 样条函数到参数形式样条曲线的一种推广. 随着 CAD 技术的发展, Bézier 方法和 B 样条方法也不断地从理论和应用上得到发展, 今天, 它已成为国际上开发 CAD/CAM 系统采用的 NURBS 系统的核心方法之一.

与本书密切相关的另一门学科是计算机图形学, 它是研究怎样用计算机生成、处理和显示图形的一门新兴学科. 曲线曲面的数学模型最终由计算机图形学中的显示原理和方法来实现. 因此, 将曲线曲面的设计方法与图形显示原理结合起来是本书的主要目的.

§ 2 计算机图形显示的发展历史及其应用

我们首先需要解决的一个问题是: 什么是计算机图形显示? 这个问题看似简单, 但要准确表述却不是那么容易. 计算机图形显示就是建立在图学、应用数学及计算机科学三者有机结合的基础上的应用计算机及其图形输入、输出设备来实现图形显示、辅助绘图及设计的一门新兴学科.

计算机图形显示的发展历史实际上也是电子计算机及其外围设备的发展历史。计算机图形显示的发展历史可从两个方面来考察，即硬件的发展历史和计算机图形软件的发展历史。

2.1 计算机图形显示硬件的发展历史

1950年，第一台图形显示器诞生了。显示器是一个类似于示波器所用的阴极射线管(CRT)，它用来显示一些简单的图形。

1958年，美国CALCOMP公司把联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪。

1963年，麻省理工学院的Ivan E. 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，确立了计算机图形显示的科学分支的独立地位。该院的林肯实验室在“旋风”(whirlwind)电子计算机上开发的SAGE(SemiAutomatic Ground Environment)空中防御系统，第一次使用了具有指挥和控制功能的CRT显示器，操作者可以用笔在屏幕上指出被确定的目标，它预示着计算机交互式图形显示技术的诞生。

60年代中期出现随机扫描的显示器，它具有较高的分辨率和对比度，具有较好的动态性能，需要一个刷新缓冲存储器来存储计算机产生的显示文件，还要求有一个较高速度的处理器。

60年代后期出现了不需缓冲及刷新功能的存储管式显示器。该显示器价格比较低廉、分辨率高，显示大量信息也不闪烁。但是它具有一些很严重的缺点：不具有显示动态图形的能力，也不能进行选择性的删除。

70年代中期，由于廉价固体电路随机存储器的出现，导致基于电视技术的光栅扫描图形显示器的应用。在这种显示器中，使用了像素存储的技术，按光栅扫描方式以每秒30次的频率对存储器进行读写以实现图形的刷新而避免闪烁。

80年代的图形显示器仍采用光栅扫描显示原理，只是在分

辨率、色彩层次方面有所改进。

计算机图形显示的输入硬件也在不断发展。有光笔、操纵杆、轨迹球、鼠标、数字化仪等定位、拾取装置；键盘是交互式图形显示系统必不可少的输入设备。

2.2 计算机图形显示软件的发展历史

随着计算机图形显示硬件的发展，计算机图形显示软件系统也有了很大的发展。

计算机图形显示软件的发展可分为四个阶段：

(1) 二维图形显示阶段

早期的图形显示软件都是二维图形显示，这也是计算机图形显示的基础。其功能是绘制并显示各种平面图形，如：直线、圆弧、二次曲线、样条曲线等，并可对二维图形进行图形变换及裁剪等操作。

(2) 三维线框图显示阶段

这是早期的三维立体图形显示。其用顶点、边界线及面等概念来表达三维立体图形，是描述三维立体图形的基本方法，其数据量小、效率高，但是不能进行复杂的几何运算。

(3) 三维立体造型及自由曲面构造阶段

这是以体为出发点，充分利用几何及拓扑信息来构造物体。一般采用CSG(Constructive Solid Geometry 结构立体几何)或B-Rep(Boundary Representation 边界表示法)数据结构来描述三维物体。利用Coons、Bézier及B样条曲面来生成，显示自由曲面。三维立体图形可以通过布尔运算来得到更为复杂的三维立体图形。通过光线跟踪(Ray Tracing)技术可显示具有灰度和阴影的真实感图像。

(4) CAD(计算机辅助设计)显示阶段

这是比较专业的图形生成、显示技术，也是目前计算机图形

显示中实用化的部分。

计算机图形显示具有广泛的用途，主要表现在以下几个方面：

(1) 计算机辅助设计和计算机辅助制造(CAM)

这是计算机图形显示中一个最广泛、最活跃的应用领域。采用CAD方法，用人工交互的方式将设计出的工程图纸或零部件结构图显示出来，加以修改，最后得到满意的设计方案。在国外，交互式的图形显示技术已取代了绘图板加丁字尺的传统设计方法，大大减轻了设计者的劳动量，节约大量时间、人力、物力、财力。在我国，CAD/CAM的应用水平也有了很大发展。

(2) 计算机辅助教学(CAI)

大量的图形显示出现在教学过程中，能大大激发学生的学习兴趣 and 丰富想象力，提高学生的学习效率。

(3) 计算机动画

在科幻影片中的机器人变形，动画片的制作等方面，利用计算机产生物体随时间而变化的图形，已越来越普遍了。利用计算机产生的动画片，质量高，且产生周期短，具有广泛的应用前景。

(4) 计算机模拟技术

利用这一技术，可以研究许多数学模型，如水流，核反应，化学反应，物体结构在负载下的变形等。可用来进行飞行模拟，不仅可产生并显示飞行器运动的现实环境，而且可用来进行飞行的地面训练和进行飞行格斗等模拟。

(5) 艺术和商业用途

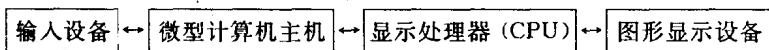
将人工智能技术引入计算机图形显示中，可产生油画、国画及书法等。计算机图形显示还可应用于商业广告，以吸引顾客，推销商品。

随着计算机科学技术和计算机图形显示硬件的进一步发展，以及各种新算法的大量出现，计算机图形显示的应用前景必将更

加灿烂。

§ 3 计算机图形显示系统的组成及其原理

本书所讲的计算机图形显示系统是指微型计算机图形显示系统。其系统组成如下：



下面主要介绍图形输入设备及图形显示(输出)设备。

3.1 图形输入设备

(1) 光笔

光笔是一种用于直接输入坐标点的定位设备，除用于定位之外，还可以用来改变显示点的位置和选择在屏幕上显示的图形或菜单项。光笔的外形和大小像一支圆珠笔，由笔体、透镜、光导纤维、开关和导线等部分组成，但光笔不是用来产生光的，它是一种能检测光信号的装置。其结构如图 1.1。

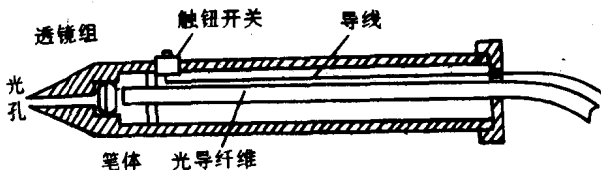


图 1.1

笔体一般用绝缘材料组做成，光导纤维是由一束石英玻璃细丝组成，光导纤维的半径约为 1.5~2mm，长度为 1~2m。有的

光笔内装有滤色片，只有 CRT 发出的光能通过。光笔的开关是普通的触钮开关。

光笔有两种基本功能：一是定位，一是拾取。

定位功能：光笔有一光孔，允许光线进入。当光笔头部紧贴荧光屏上明亮图形或字符处时，按一下触钮开关就表明检测过程开始。当 CRT 发出的光进入光笔孔，光笔就产生一个输出脉冲，这个脉冲与来自光栅显示系统的扫描发生器或向量图形显示的向量发生器的定时信号发生作用，就确定了屏幕上光笔的位置。

拾取功能：光笔只能检测当前显示的像素或图形元素，而不能检测屏幕上暗区范围内的位置，但是，可用光笔产生光标，并牵引光标跟随光笔一起移动。在进行电路图设计中可采用这种方法，用户把光标附着在一个被选取的子图（如二极管，三极管，电阻，电容等电路元件符号），然后移动光笔，子图则随着移动，这样，可把子图放到合适的位置。但是，光笔的移动速度不能太快，以免计算机来不及计算而导致拾取失败。

(2) 键盘

键盘一般是用来输入字符的设备。但是在计算机图形显示中键盘还是一种简单又便宜的图形输入设备。键盘由若干按键与相应的微动开关以及键盘编码器、寄存器等逻辑电路组成。键盘的盘面分为打字区、功能区和控制区三部分。打字区与英文打字机的设计、操作相似。使用者可通过按动键盘上的按键，使相应的开关接通，便可向主机发出图形命令，输入图形数据。

键盘上的键按其用途可分为三类：

(a) 字符键 用于产生字符编码。字符编码是按 ASCII 编码（或其它的编码形式）进行的。

(b) 功能键 各种计算机图形显示软件一般都在键盘上定义功能键，以方便用户使用，提高操作速度。它可将图形的平移，旋转等图形变换操作定义为功能键，当功能键被按动时，将产生相

应的控制命令，完成相应的图形操作。

(c) 控制键 用于对系统的运行进行人工控制以完成各种中断操作、屏幕拷贝等操作。

用户还可以自己编程，用键盘来模拟鼠标器的功能。

(3) 数字化仪

对于向计算机输入图形数据来说，键盘的键入效率不高，尤其是键入较复杂的图形数据，如海岸线数据等。数字化仪又称作图形输入板，是一种功能很强的图形输入设备。常用的数字化仪有电子式、超声波式、磁致伸缩式和电子感应式等。

数字化仪虽然有不同的类型，但是工作原理都是相似的，都是用于直接输入二维 x 和 y 坐标数据的设备。现以电磁感应式数字化仪为例，来说明其结构与工作原理。

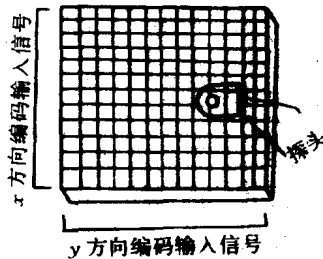


图 1.2

数字化仪的工作台面下安装有呈方阵布置的导线。导线越密，则数字化仪的精度越高，最高可达 $\pm 0.025\text{mm}$ ，但由于外界的干扰及其它原因，数字化仪的真正读数分辨率低于精度。因此数字化仪的分辨率一般指数字化仪的实际读数分辨率。目前分辨率最好的可达到 $\pm 0.05\text{mm}$ 。数字化仪的输入导线的信号按每根导线的位置进行编码，与 x 轴平行的导线的输入信号按其 y 坐标进行编码，与 y 轴平行的导线的输入信号按其 x 坐标进行编码。

探头内有一个接收元件,能将电磁感应产生的检测位置信号传送给电子译码逻辑,译码逻辑根据编码信号的相对强度计算出探头相对于数字化仪工作台面的位置。

数字化仪的工作方式一般可分为三种:

- 点型 每次输入一个所在位置点的坐标。
- 流型 以一定的速率(1次/秒,5次/秒,10次/秒,50次/秒,……)输入探头所在位置点的坐标。
- 开关流型 数字化仪的探头上可以有若干个按钮,操作这些按钮可把台面上当前位置数字化,并传送给计算机。当探头的按钮按下时,可以一定的速率输入探头所在位置点的坐标,不按时不产生。

数字化仪所使用的编码与键盘的代码相同,都是 ASCII 码。数字化仪所产生的位置数据必须先转换成 ASCII 码,然后传送到 CPU,方能被 CPU 所理解和接受。

(4) 鼠标器,操纵杆和轨迹球

(a) 鼠标器

鼠标器是一个控制计算机屏幕上光标移动的小型手控设备。开始问世时,它是一个粗劣的带有一个按钮的木制品。到目前为止,它已经发展成了复杂而精巧的输入设备,其重要性与键盘相当。许多软件如:Windows,3D Studio,AutoCad 等用鼠标操作特别方便。

我们常用的鼠标器是与 Microsoft 鼠标器兼容的,鼠标器有总线型、Inport 型、串行口型和 Ps/2 型。不同的鼠标器产生的信号各不相同。为了使程序员能得到一致的、容易使用的接口,Microsoft 公司提供了鼠标器驱动程序。鼠标器驱动程序是用来解释鼠标器传送的数据并给操作系统提供统一的接口的软件。Microsoft 公司鼠标器驱动程序提供了 35 个功能调用,使程序可以了解当前的状态并采取行动。