机械工程 CAD 应用与开发

肖世德　熊　鹰　王小强　　编著

此书由西南交通大学出版基金资助

西 南 交 通 大 学 出 版 社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书以 AutoCAD 2000 为基础，全面地介绍了 AutoCAD 的二次开发技术，着重介绍了 AutoLISP 语言在机械工程 CAD 参数化设计绘图中的应用。主要内容包括：二维图形学理论基础、AutoCAD 交互式绘图、Visual LISP 参数化绘图、AutoLISP 图形数据库操纵、菜单与对话框界面设计、ObjectARX 及 ActiveX/VBA 开发技术。并结合工程实际介绍了这些技术在冲压模具 CAD 系统和蛇形管 CAD/CAM 系统中的应用。

本书实例丰富，工程实用性强，可作为在校师生和相关设计人员的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

机械工程 CAD 应用与开发 / 肖世德，熊鹰，王小强编著. —成都：西南交通大学出版社，2002.2

ISBN 7－81057－626－7

Ⅰ. 机…　Ⅱ. ①肖…　②熊…　③王…　Ⅲ. 机械设计：计算机辅助设计－应用软件，AutoCAD 2000　Ⅳ. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 002050 号

机械工程 CAD 应用与开发

肖世德　熊　鹰　王小强　编著

*

出 版 人　宋绍南

责任编辑　李　蕾　秦　薇

封面设计　肖　勤

西南交通大学出版社出版发行

（成都二环路北一段 111 号　邮政编码：610031　发行科电话: 7600564）

http://press.swjtu.edu.cn

E-mail: cbs@center2.swjtu.edu.cn

四川冶金地质印刷厂印刷

*

开本：787 mm×1092 mm　1/16　　印张：17.5

字数：411 千字　　印数：1—1500 册

2002 年 2 月第 1 版　　2002 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-626-7/TH · 280

定价：25.00 元

前　　言

目前，计算机辅助设计（Computer Aided Design 简称 CAD）在各国的制造业中已得到广泛应用。经过 10 多年的努力，我国的机械制造业也已经普及了 CAD 绘图技术，实现了“甩图板”的目标。现在工程界普遍缺乏掌握 CAD 二次开发的人才，因而让广大工程技术人员进一步掌握CAD开发技术很有必要。在现有的微机CAD软件中，美国Autodesk公司的AutoCAD以其强大的图形编辑和处理功能、开放性结构以及良好的性价比，获得了极大的市场优势，是主要的 CAD 开发平台之一。

本书全面介绍了 AutoCAD 2000 二次开发技术，着重介绍了 AutoLISP 语言在机械工程 CAD 参数化设计绘图中的应用。主要内容包括：二维图形学理论基础、AutoCAD 交互式绘图、Visual LISP 参数化绘图、AutoLISP 图形数据库操纵、菜单与对话框界面设计、ObjectARX 及 ActiveX/VBA 开发技术。在此基础上结合工程实际介绍了这些开发技术在冲压模具 CAD 系统和蛇形管 CAD/CAM 系统中的应用。在附录中列出了 Visual LISP 的常用函数及其简要说明，可作为开发时的参考资料查阅。

本书具有以下特点：

1. 以二维 CAD 图形参数化程序绘图为重点，结合中国制造业广大工程技术人员迫切需要的掌握参数化 CAD 开发技术的现实需求，对于解决企业普遍存在的系列产品设计问题及减少重复、相似性绘图劳动的意义重大。

2. 编写自成体系，特别是第 1 章列出的计算机二维图形学基础理论，内容十分简明扼要，有利于工程设计绘图人员掌握计算机二维绘图技术原理。

3. 深度和广度适当，例子丰富而典型，多数采用作者自己的教学科研开发成果作例子，用示例来深入阐述参数化 CAD 开发的思路。

本书包含了丰富的实例，清晰易懂，工程实用性强，对在校师生和设计人员均具有很好的参考价值。书中实例均在 AutoCAD 2000 下调试通过。

编　者

2001 年 3 月

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　录

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

第 1 章　计算机二维图形学理论基础

CAD 是研究在计算机上对图形、图像进行生成（Creating）、构筑（Constructing）、变换（Transform）、显示（Display）、修改（Modify）、编辑（Edit）、更新（Update）和管理（Manage）的科学。

无论二维（2D）、三维（3D）图形，从构成层次来讲，可归纳为点、线、面、体四个层次。二维图形无论多么复杂，其基本构成要素仍为线段、圆、圆弧、样条曲线和文本。三维实体（零件和装配体）从构筑方法来讲，分两种：一种是“从顶向下”的方法，实体由基本体素（标准体素 Primitive）经过布尔运算（交、并、差）生成，即构筑几何表达（CSG）；另一种是“从底到顶”的方法，按点—线架（Wireframe）—截面（Section Profile）—实体—曲面（Solid Surface）顺序构成，即表面表达方法（Brep）。

本章简要论述坐标点（Point）、线段（Line、Polyline）、圆弧（Arc、Circle）、矩形（Rectangle、Viewport、Window）、样条曲线（Spline）、平面（Plane、Facet）这些图形学基本元素的相互关系与算法，它们是计算机图形学（CG）的理论基础。

1.1　图形分类与图形标准

1.1.1　图形分类

对人类而言，“一幅图胜过万语千言”，人们通常更擅长形象的、直观的思维（识别、判断、选择），而计算机本质上就是一个 0、1 的数值机器，它的长处在于数值运算快、存储量大、表达精确，因此作为人机结合的交互式 CAD 软件，在计算机内进行的是 0、1 数值运算与存储操作，而对外则必须化为图形方式输入、输出与显示。扫描仪的输入，显示器、打印机的输出是光栅点阵图形（Image），绘图机输出的是线画矢量图形（Vector）。点阵图生成容易，但不便检索修改，存储量大；矢量图则便于修改检索和参数化，数据库存储量少。计算机图形学研究的就是点阵图、矢量图与数值的相互关系和相互变换。对于设计工程师而言，重点是矢量图形，点阵图形主要应用于艺术动画仿真制作。

1. 矢量图

矢量图可划分如下：

- **矢量图**
  - **直线图**
    - **线段**
      - Line
      - Polyline
    - **多边形**
      - Polygon
      - Rectangle
  - **曲线图**
    - **圆弧**
      - Circle
      - Arc
    - **椭圆弧**
      - Ellipse
      - Ellipstal arc
    - **样条曲线**
      - **插值样条** Interplatation Curve
      - **拟合样条** Fitting Curve
      - **造型样条**
        - Beizer - spline
        - B - spline
        - NURBS
  - **文本** (Text)

2. **点阵图可划分如下**

- **点阵图**
  - **点**(Pixel Point)
  - **填充区** (Box Fillarea)
  - **像元阵列** (Cellarray)

1.1.2　图形标准

由于设计工程师从事的领域不同，如机械、建筑、艺术、电气、土木等，以及图形设备种类不同，对图形分类就千差万别，尤其在子类图形分类上。为此提出了图形分类与表达的标准化问题。

20 **世纪** 80 **年代以来，国际标准化组织** ISO **先后宣布了** GKS、GKS3D、PHIGS、CGI、IGES、STEP **图形标准。另外** Autodesk **公司的** DXF **亦成为事实上的工业图形交换标准。**

（1）GKS

GKS **图形标准把图形分为** 6 **个类别，如图** 1.1 **所示：**

- **多点折线** Polyline；
- **多点记号** Polymarker；
- **文本** Text；
- **填充区** Fillarea；

- **像元阵列** Cellarray；
- **广义图形元素** GDP（General Drawing Primtive）　**如圆、圆弧、椭圆、样条等。**

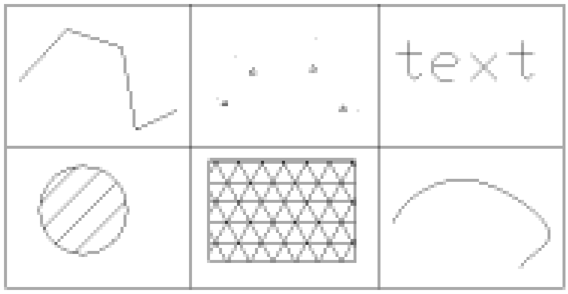

图 1.1　GKS 六种基本图元

（2）AutoCAD

AutoCAD **把图形分成以下几类来绘制：**

- **点** Point，**可绘记号** Marker，**可以是** 3D **点；**
- **线段** Line，**实质上是多点折线** Polyline，**可以是** 3D **线；**
- **圆** Circle，**提供** 6 **种画圆方式；**
- **圆弧** Arc，**提供** 11 **种画圆弧方式；**
- **多义线** Pline，**画线、圆弧、样条及其组合，包括圆环** Donut、**椭圆** Ellipse、**正多边形** Polygon；
- **文本** Text；
- **轨迹** Trace；
- **实心面** Solid；
- **块** Block；
- **属性** Attribute；
- **尺寸** Dimension；
- **阴影线图案** Hatch；
- **形** Shape；
- **三维面** 3DFace Pface；
- **三维网** 3Dmesh；
- **规则曲面** Rulesurf、Tabsurf、Revsurf、Edgesurf。

（3）I－DEAS

I－DEAS Drafting **把图形分成以下几类绘制：**

- **点** Point；
- **线段** Line，**可以是有限或无限线；**
- **圆** Circle，**可绘同心圆；**
- **圆弧** Arc；
- **椭圆** Ellipse；
- **矩形** Rectangle；
- **样条** Spline；

- 文本 Annotation；
- 尺寸 Dimension；
- 符号 Symbol，包括属性 BOM。

本章只论述以下最基本图形元素的表达及相互关系：

- 点 Point；
- 线段 Line，限两点式；
- 圆弧 Arc，含 360° 圆 Circle；
- 矩形 Rectangle，限正则矩形；
- 样条 Spline，限 2－3 阶插值、拟合与造型样条（Beizer 和 B 样条）；
- 文本 Text，限单行文本；
- 平面 Plane，限有界平面。

1.2 基本图形元素的参数表达

基本图形表达方式有直角坐标式 $y=f(x)$、$f(x, y)=0$，极坐标式 $P=\rho(\theta)$，圆柱坐标和球坐标式。推荐采用参数表达方式，即

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases} \qquad t \in [t_s,\ t_e]$$

因为采用参数方程表达方式，可以

① 方便地处理多分支、多值、自封闭、自交图形（如圆、叶形图等）。

② 以参数 t 作为循环变量，生成细小折线片段和曲面片可获得较均匀的长度和变化率，所拟合图形很形似，没有不均匀台阶形状。

③ 便于处理切矢、法矢为 0、∞的情况。

④ 选择与坐标系无关的 t 参数，可以使得图形生成具有几何不变性（样条曲线）。

⑤ 对曲线、曲面可以控制很多自由度，实现坐标变量独立求解。

极坐标、圆柱坐标、球坐标方程可转化成参数方程，如极坐标方程

$$P = \rho(\theta) \Rightarrow \begin{cases} x = \rho(\theta)\cos\theta \\ y = \rho(\theta)\sin\theta \end{cases} \qquad \theta \in [\theta_s, \theta_e]$$

对于直角坐标方程，可以设法使 t 归一化

$$\begin{cases} x = x(t) = x_s + Ht \\ y = f(x(t)) = y(t) \end{cases} \qquad t \in [0,\ 1]$$

1.2.1 点

点有两个自由度（x，y）。给定坐标 x，y，即确定一个点。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

1.2.2　线　段

$$p = p_1 + (p_2 - p_1)t$$

即
$$\begin{cases} x = x_1 + (x_2 - x_1)t \\ y = y_1 + (y_2 - y_1)t \end{cases} \qquad t \in [0,\ 1]$$

线段参数方程本质上是两点式，即已知两点坐标（x_1，y_1）、（x_2，y_2）

若采用 $Ax+By+C=0$ 方式，则有

$$A = y_2 - y_1$$
$$B = x_1 - x_2$$
$$C = -x_1 A - y_1 B$$

线段共有 4 个自由度。

1.2.3　圆与圆弧

已知：圆心（x_c，y_c），半径 R，始角 θ_s，末角 θ_e（对于圆：$\theta_s=0$，$\theta_e=2\pi$）

参数方程

$$\begin{cases} x = x_c + R\cos t \\ y = y_c + R\sin t \end{cases} \qquad t \in [0,\ 2\pi]\ \text{(圆)}, \quad t \in [\theta_s,\ \theta_e]\ \text{(圆弧)}$$

解析方程

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = R^2$$
$$x^2 + y^2 + Dx + Ey + F = 0$$

圆有三个自由度（x_c，y_c，R），圆弧有五个自由度（x_c，y_c，R，θ_s，θ_e）。

一般规定圆弧为逆时针方向，角度逆时针为正。也可采用（x_c，y_c，R，θ_s，$\Delta\theta$）方式，$\Delta\theta$ 参数的符号代表圆弧张角和走向。

① 对于用两点方式给定的圆，则

已知圆心（x_c，y_c），圆上一点（x_e，y_e），半径对应 $R = \sqrt{(x_e - x_c)^2 + (y_e - y_c)^2}$

已知直径两端点 $(x_1,\ y_1)-(x_2,\ y_2)$**，对应**

$$x_c = \frac{x_1 + x_2}{2}, \qquad y_c = \frac{y_1 + y_2}{2}, \qquad R = \frac{1}{2}\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

② 对于用圆周上三点给定的圆、圆弧，则

已知 $(x_1,\ y_1)$ **、**$(x_2,\ y_2)$**、** $(x_3,\ y_3)$ **对应方程组**

$$\begin{cases} (x_1 - x_c)^2 + (y_1 - y_c)^2 = R^2 \\ (x_2 - x_c)^2 + (y_2 - y_c)^2 = R^2 \\ (x_3 - x_c)^2 + (y_3 - y_c)^2 = R^2 \end{cases}$$

由此解出（x_c，y_c，R），若三点不共线肯定有解。

且
$$\theta_s = a\tan2(y_1 - y_c,\ x_1 - x_c), \qquad \theta_e = a\tan2(y_3 - y_c,\ x_3 - x_c)$$

1.2.4 矩形与椭圆

它们有五个自由度，即：定位点(x_1, y_1) ，长L，宽W和定位角θ_0（对于正放的矩形$\theta_0=0$）。矩形由四条线段构成。对于正放矩形，已知左下角和右上角顶点坐标：(x_1, y_1)、(x_2, y_2)，有

$$\begin{cases} \text{长度} & L=(x_2-x_1) \\ \text{宽度} & W=(y_2-y_1) \text{。} \\ \text{倾角} & \theta_0=0 \end{cases}$$

矩心
$$\begin{cases} x_c=\dfrac{x_1+x_2}{2}, \\ y_c=\dfrac{y_1+y_2}{2}, \end{cases}$$

相应的椭圆方程
$$\begin{cases} x=x_c+A\cos(t+\theta_0) \\ y=y_c+B\sin(t+\theta_0) \end{cases}$$

式中 $\begin{cases} x_c=\dfrac{x_1+x_2}{2} \\ y_c=\dfrac{y_1+y_2}{2} \end{cases}$；$A=\dfrac{L}{2}$；$B=\dfrac{W}{2}$；

由于正放矩形与视口、窗口的一致性，我们以后只讨论正放矩形，并略去“正放”定语。

1.2.5 样条曲线

曲线一般由点列决定，已知点列：(x_i, y_i)，$i=1$，…，n 和边界条件：

- 自由边界 $y_1'''=0$ $y_n'''=0$
- 固定边界 $y_1'=a$ $y_n'=b$
- 铰支边界 $y_1''=0$ $y_n''=0$

若要求曲线通过点列，则为插值样条；若要求曲线与点列误差最小，则为拟合样条；若要求曲线贴近点列构成多边形，则为造型样条。

工程上一般要求样条有C^0、C^1、C^2阶连续性，采用分片三阶多项式参数方程可以满足C^2连续，且多项式便于处理，不存在高次误差和振荡。即

$$\rho(t)=\vec{A}_0+\vec{A}_1t+\vec{A}_2t^2+\vec{A}_3t^3 \qquad t\in[0, 1]$$

一般地，已知点列坐标(x_i, y_i)，$i=1$，…，n，可按如下流程绘出多折线：

```
moveto（x1，y1）
for （i=2；i<=n;i++） {
        lineto（xi，yi）;
}
lineto（x1，y1）        //若要求闭合
```

当点列很密时，上述多折线就是函数曲线。

对于插值、拟合、造型来讲，核心就是如何根据稀疏的点列，按照C^0、C^1、C^2连续要求，求出A_0、A_1、A_2、A_3，再求出点列绘图。

有关样条理论及公式推导参见文献［1］、［2］，下文只给出有关结论。

1. 点点通过的插值样条

① 已知两点P_0、P_1，有直线样条

$$P(t) = f_0 P_0 + f_1 P_1 = \mathrm{TMP}$$

式中，$f_0 = 1 - t$；$f_1 = t$；$T = [t \quad 1]$；$M = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$；$P = \begin{bmatrix} P_0 \\ P_0 \end{bmatrix}$

② 已知三点P_0、P_1、P_2，有抛物线样条

$$P(t) = f_0 P_0 + f_1 P_1 + f_2 P_2 = \mathrm{TMP}$$

式中，$f_0 = 2t^2 - 3t + 1$；$f_1 = 4t - 4t^2$；$f_2 = t - 2t^2$。

$$T = [t^2 \ t \ 1]；\ M = \begin{bmatrix} 2 & -4 & -2 \\ -3 & 4 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}；\ P = \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}。$$

对于点列P_0、P_1，…，P_n采用加权合成法、生成$n-2$段抛物曲线，达到C^1连续。

$$P_{i+1}(t) = f_i P_i + f_{i+1} P_{i+1} + f_{i+2} P_{i+2} + f_{i+3} P_{i+3} \qquad i = 0,\ 1, \cdots, n-3$$

式中，$f_i = -4t^3 + 4t^2 - t$；$f_{i+1} = 12t^3 - 10t^2 + 1$；$f_{i+2} = -12t^3 + 8t^2 + t$；$f_{i+3} = 4t^3 - 2t^2$；$t \in [0,\ 0.5]$。

首末段根据边界条件要求可以补点生成。

③ 已知两点及其切矢P_0、P_1、P_0'、P_1'，有三次样条：

$$P(t) = f_0 P_0 + f_1 P_1 + f_2 P_0' + f_3 P_1' = \mathrm{TMP}$$

式中，$f_0 = 2t^3 - 3t^2 + 1$；$f_1 = -2t^3 + 3t^2$；$f_2 = t^3 - 2t^2 + t$；$f_3 = t^3 - t^2$；

$$T = [t^3 \ \ t^2 \ \ t \ \ 1]；\ M = \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}；\ P = \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_0' \\ P_1' \end{bmatrix}。$$

对于点列P_0，P_1，…，P_n，可根据C^2条件，求出切矢P_i'：

$$P_{i-1}' + 4P_i' + P_{i+1}' = 3(P_{i+1} - P_{i-1}) \qquad i = 1,\ 2,\ \cdots,\ n-1$$

补充两个端点条件，构成三对角方程求解。

固定端P_0'、P_n'已知，

悬臂端 $P_0' + P_1' = 2(P_1 - P_0)$

$P_n' + P_{n-1}' = 2(P_n - P_{n-1})$

铰支端 $2P_0' + P_1' = 3(P_1 - P_0)$

$P_{n-1}' + 2P_n' = 3(P_n - P_{n-1})$

2. 误差平方和最小的拟合样条

已知点列 $(x_i,\ y_i)$，$i=0$，…，n

① **拟合直线** $y=a_0+a_1x,\qquad x\in[x_0,\Lambda\ ,x_n]$

$$\begin{cases} a_0\sum_{i=0}^{n}x_i+a_1n=\sum_{i=0}^{n}y_i \\ a_1\sum_{i=0}^{n}x_i^2+a_1\sum_{i=0}^{n}x_i=\sum_{i=0}^{n}x_iy_i \end{cases}$$

② **拟合抛物线** $y=a_0+a_1x+a_2x^2$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=0}^{n}x_i^2 & \sum_{i=0}^{n}x_i & n \\ \sum_{i=0}^{n}x_i^3 & \sum_{i=0}^{n}x_i^2 & \sum_{i=0}^{n}x_i \\ \sum_{i=0}^{n}x_i^4 & \sum_{i=0}^{n}x_i^3 & \sum_{i=0}^{n}x_i^2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \sum_{i=0}^{n}x_i \\ \sum_{i=0}^{n}x_iy_i \\ \sum_{i=0}^{n}x_i^2y_i \end{bmatrix}$$

③ **拟合三次样条** $y=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=0}^{n}x_i^3 & \sum_{i=0}^{n}x_i^2 & \sum_{i=0}^{n}x_i & n \\ \sum_{i=0}^{n}x_i^4 & \sum_{i=0}^{n}x_i^3 & \sum_{i=0}^{n}x_i^2 & \sum_{i=0}^{n}x_i \\ \sum_{i=0}^{n}x_i^5 & \sum_{i=0}^{n}x_i^4 & \sum_{i=0}^{n}x_i^3 & \sum_{i=0}^{n}x_i^2 \\ \sum_{i=0}^{n}x_i^6 & \sum_{i=0}^{n}x_i^5 & \sum_{i=0}^{n}x_i^4 & \sum_{i=0}^{n}x_i^3 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} a_3 \\ a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \sum_{i=0}^{n}x_i \\ \sum_{i=0}^{n}x_iy_i \\ \sum_{i=0}^{n}x_i^2y_i \\ \sum_{i=0}^{n}x_i^3y_i \end{bmatrix}$$

线性方程组可用列主元 Gauss 消元法求解。

3. 控制顶点多边形的造型样条

① **二次 Beizer 样条**

已知 P_0、P_1、P_2，**有**

$$P(t)=f_0P_0+f_1P_1+f_2P_2=\mathrm{TMP}$$

式中， $f_0=(1-t)^2$ ；$f_1=2t(1-t)$ ；$f_2=t^2$ ；

$$T=[t^2\quad t\quad 1]\ ;\quad M=\begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix};\quad P=\begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}。$$

性质　以 P_0、P_2 为始、末点，起始向切于 P_1-P_0、P_2-P_1，过 Δ$P_0P_1P_2$ 中线 P_1P_m 中点的抛物线。

② 三次 Beizer **样条，如图** 1.2 **所示。**

已知 P_0、P_1、P_2、P_3，**有**

$$P(t) = f_0P_0 + f_1P_1 + f_2P_2 + f_3P_3 = \mathrm{TMP}$$

式中， $f_0 = (1-t)^3$；$f_1 = 3t^2(1-t)$；$f_2 = 3t(1-t)^2$，$f_3 = t^3$；

$$T = [t^3 \quad t^2 \quad t \quad 1]\,;\, M = \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};\; P = \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ p_3 \end{bmatrix}。$$

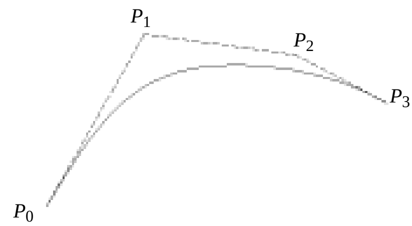

图 1.2 三次 Beizer 样条

性质 过始点 P_0、**末点** P_3。

③ 二次 B **样条（均匀）**

$$P(t) = f_0P_0 + f_1P_1 + f_2P_2 = \mathrm{TMP}$$

式中， $f_0 = \frac{1}{2}(t-1)^2$；$f_1 = \frac{1}{2}(-2t^2 + 2t + 1)$；$f_2 = \frac{1}{2}t^2$；

$$T = [t^2 \quad t \quad 1]\,;\; M = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix};\; P = \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}。$$

性质 以 P_0P_1 **边和** P_1P_2 **边中点** $P_{1m}P_{2m}$ **为始末，切矢为边** P_1-P_0、P_2-P_1。$P/2$ **过** $\Delta P_{1m}P_{2m}$ **的中线中点，且切矢为** $P_{2m}P_{1m}$ **的抛物线，显然由** m **个顶点定义** $m-2$ **段抛物线自动实现** C^1 **连续。**

④ 三次 B **样条（均匀）**

$$P(t) = f_0P_0 + f_1P_1 + f_2P_2 + f_3P_3 = \mathrm{TMP}$$

式中， $f_0 = (t^3 + 3t^2 - 3t + 1)/6$；$f_1 = (3t^3 - 6t^2 + 4)/6$；$f_2 = (-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1)/6$；$f_3 = t^3/6$；

$$T = [t^3 \quad t^2 \quad t \quad 1]\,;\; M = \frac{1}{6}\begin{bmatrix} 1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix};\; P = \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ p_3 \end{bmatrix}。$$

性质 始点 P_0 **位于** $\Delta P_0P_1P_2$ **底边** P_0P_2 **的中线** P_1P_m **上距** P_1 **点** 1/3 **处，切矢** $p'_{(0)}$**平行于底边且长为** $(P_2-P_0)/2$，$P''_{(0)}$**为中线矢量** P_1P_m **的** 2 **倍。终点类似。**

以上公式中 $t\in[0，1]$。

若要求 B **样条通过点列** Q，**则反求控制多边形** P **有**

$$P_i + 4P_{i+1} + P_{i+2} = 6Q_i \qquad i = 0,\ 1,\ \Lambda\ ,\ n-2$$

另外补充两个端点条件方程（给定位置、切矢、曲率等）构成三角方程求解。显然由 m **个顶点定义** $m-3$ **阶三次** B **样条自动实现** C^2 **连续。**

1.2.6 平 面

对于平面，其方程为

$$A(x-x_0)+B(y-y_0)+C(z-z_0)=0$$

式中，$\{A,B,C\}$ 为法矢；(x_0, y_0, z_0) 为平面上一点。

已知平面点列：P_0, P_1, Λ, P_n，规定各顶点外环按逆时针走向，内环按顺时针走向排列，且取实体平面外法向方向，则由三点可定法矢：

$$P_1(x_1, y_1, z_1),\quad P_2(x_2, y_2, z_2),\quad P_3(x_3, y_3, z_3)$$

$$\vec{n}=\left|\overrightarrow{P_{12}}\times\overrightarrow{P_{23}}\right|=\begin{vmatrix} i & j & k \\ x_2-x_1 & y_2-y_1 & z_2-z_1 \\ x_3-x_2 & y_3-y_2 & z_3-z_2 \end{vmatrix}$$

有

$$A=(y_2-y_1)(z_3-z_2)-(y_3-y_2)(z_2-z_1)$$

$$B=(x_3-x_2)(z_2-z_1)-(x_2-x_1)(z_3-z_2)$$

$$C=(x_2-x_1)(y_3-y_2)-(x_3-x_2)(y_2-y_1)$$

对于凸平面，则三点可顺序选取；对于凹平面，则必须选取点列的凸集点，一般可在 x、y、z 方向 max 或 min 点处作为 P_2，前后两点作为 P_1P_3，求出法矢。

1.2.7 文 本

文本是一种比较特殊的几何实体，它的几何参数有：文本插入点 x_t、y_t，文本方向角 θ，文本内容 ABC。

文本的属性参数不同于线、圆几何图形的属性参数（如：视图 View、层 Layer、色彩 Color、线型 Linestyle、线宽 Linewidth 等），它的属性参数有：视图 View、层 Layer、色彩 Color、文本类型 Font、文本格式 Style、文字宽度 Width、文字高宽比 Ratio、文字倾角 θ_0、对齐方式 Justify 等。

根据文本的几何属性和属性参数，可求出文本的包围矩形盒参数。设为左下角对齐方式，文本串文字个数为 n，则

矩形基点 (x_t, y_t)，矩形长度 $w=nwidth+b_r\cos\theta_0$，矩形高度 $h=b_r\sin\theta_0$

其中，$b_r = width\ \cdot\ ratio$

1.3 基本图形元素求交算法

求交算法的效率与 CAD 软件交互响应极为相关，在目标选择中，无论用 Windows、Cross、Polygon、Fence 方式，还是在图形裁剪、图形延展 Trim/Extend 中，本质上就是判断线段、圆

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com