

CATIA发现系列

CATIA V5

曲面造型

尤春风 等 编著



清华大学出版社

CATIA V5 曲面造型

尤春风 等 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

CATIA 是一种功能强大的 CAD/CAM 软件,其自由曲面与装配设计的强大功能可以让用户尽情发挥。CATIA V5 是其个人计算机版本。本书介绍 CATIA V5 的线架构与曲面设计、自由造型、数字曲面编辑器与渲染等 4 个单元。线架构与曲面造型能力设计单元和自由造型单元,提供强大的曲面与曲线造型能力,数字曲面编辑器单元提供逆向工程所需的功能,渲染单元可输出亮丽的产品图形。本书还详细介绍了 CATIA V5 所使用的曲线、曲面模型的数学理论基础,使理论与实际应用能互相搭配,达到相辅相成之效,对高级用户极具参考价值。

本书可供计算机辅助设计/制造领域的开发人员和专业技术人员使用或参考。

本书繁体字版书名为《CATIA V5 使用手册—曲面造形篇》,由知城数位科技股份有限公司出版,版权属尤春风等人所有。本书简体字中文版由知城数位科技股份有限公司授权清华大学出版社独家出版。未经本书原版出版者和本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或任何手段复制或传播本书的部分或全部内容。

北京市版权局著作权合同登记号:图字 01-2002-3987 号

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

CATIA V5 曲面造型/尤春风等编著. —北京:清华大学出版社

ISBN 7-302-05975-6

I. C… II. 尤… III. 自动绘图—应用程序, CATIA V5—基本知识 IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 079114 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.com.cn>

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 桑任松

印 刷 者: 北京通州区大中印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 22 字数: 537 千字

版 次: 2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-05975-6/TP·3560

印 数: 0001~4000

定 价: 36.00 元

前 言

在工业制造领域, CATIA 工作站版(V4)是航空航天工业上市场占有率最高的 CAD/CAM 软件。随着新的 CATIA 个人计算机版本(V5)的推出,许多世界级的企业都已开始采用新的 CATIA V5,除传统汽车、航空航天、造船工业外,SONY、SANYO 等生产 3C 电子产品的企业也广泛地采用。除了 CATIA 本身所提供的强大设计功能外,还可以和产品生命周期管理(Product Lifecycle Management, PLM)相关软件进行集成。

CATIA 软件功能强大,其自由曲面与装配设计的强大功能可以让使用者尽情发挥。学生在一学期的课程中都能自行充分发挥 CATIA 在设计上的优越性。如能配合使用手册,应能使课程的学习效果事半功倍,并能提升各大院校的机械相关专业的学生在计算机辅助设计课程的兴趣。

本书介绍 CATIA V5 的线架构与曲面设计、自由造型、数字曲面编辑器与渲染等 4 个单元。线架构与曲面造型能力设计单元和自由造型单元,提供强大的曲面与曲线造型能力,数字曲面编辑器单元提供逆向工程所需的功能,渲染单元可输出亮丽的产品图形。本书并且详细介绍了 CATIA V5 所使用的曲线、曲面模型的数学理论基础,使理论与实际应用能互相搭配,达到相辅相成之效,对高级用户极具参考价值。

书中的各章的主要内容简述如下:

第 1 章:曲面模型的数学基础,介绍曲面模型(点、曲线、曲面),复合曲线与复合曲面,贝塞尔(Bezier)曲线的表示方法,贝塞尔曲线的升阶;B 样条(B-spline)曲线,B 样条曲线内插,节点多重插入,非均匀有理 B 样条曲线,贝塞尔曲面,B 样条曲面,非四边形曲面等内容。

第 2 章:线架构与曲面设计,介绍进入线架构与曲面单元,功能总览,线架构(点、多重点、直线、平面、投影工具、相交、平行曲线、圆与圆锥曲线、曲线),曲面(拉伸、旋转、圆球、偏移、扫描、迭层、混成),操作(修补、分割与修剪、撷取、转换、邻近、外插),约束(一般约束、对话框方式定义约束条件),分析(曲面连接性检查、曲线间隙检查),复制(重复应用、样式、Power Copy),模块连结等内容。

第 3 章:自由造型,介绍进入自由造型单元,功能总览,曲线创建(空间曲线、表面上的曲线、投影曲线、配合曲线、圆角造型、链接曲线),曲面创建(绘制缀面、拉伸曲面、旋转、偏移、外插造型、连接曲面、填满、网状曲面、扫描造型),外形修正(对称、控制点修正、链接、外形配合、整体变形、延伸),操作(切割、去除修剪、连锁曲线、分段、拆解、转换),外形分析(连接性检查、曲率检查、切面分析、反射线、反曲线、距离分析、草图、影像映射),一般工具(使用装饰、移除显示、视觉对称、几何信息、指南针快速操作、更新、坐标系),自定义观察方式(显示比例、操作方式、交互式视角定义、视角反向、前一个视角、下一个视角),范例实作等内容。

第 4 章:数字曲面编辑器,介绍进入数字曲面编辑器,功能总览,加载点数据(载入、导出),编辑云点(删除、过滤、细部编辑),绘制交线(曲线投影、平面交线、云点交线),绘制曲线(空间中曲线、平面上的曲线、交线曲线),重置云点(校正云点、使用对准球对齐、

平移校正), 铺面(铺面、偏移、重建边线、补洞), 云点运算(合并云点、合并网格、分割云点或多边形), 云点分析, 范例等内容。

第5章: 渲染, 介绍进入渲染单元, 渲染功能总览, 场景编辑器(建立环境、建立灯光、建立摄影机), 动画(建立旋转运动记录、模拟运动、产生影片、播放模拟运动), 出图引擎(建立输出细项、渲染输出细项、快速渲染), 选项设置(显示、输出设置、标签), 范例(加入环境)等内容。

由于时间仓促, 书中还难免有疏漏之处, 还请各位读者不吝指正。

编者

2002 年 9 月

目 录

第 1 章 曲面模型的数学基础	1
1.1 曲面模型	1
1.1.1 点	1
1.1.2 曲线	1
1.1.3 曲面	2
1.2 复合曲线与复合曲面	4
1.2.1 复合曲线	4
1.2.2 复合曲面	6
1.3 贝塞尔曲线的表示方法	6
1.4 贝塞尔曲线的升阶	8
1.5 B 样条曲线	9
1.6 B 样条曲线内插	13
1.7 节点多重插入	15
1.8 非均匀有理 B 样条曲线	16
1.9 贝塞尔曲面	19
1.10 B 样条曲面	20
1.11 非四边形曲面	21
第 2 章 线架构与曲面设计	22
2.1 进入线架构与曲面单元	22
2.2 功能总览	23
2.3 线架构	25
2.3.1 点	26
2.3.2 多重点	31
2.3.3 直线	34
2.3.4 平面	39
2.3.5 投影工具	44
2.3.6 相交	51
2.3.7 平行曲线	53
2.3.8 圆与圆锥曲线	54
2.3.9 曲线	64
2.4 曲面	71
2.4.1 拉伸	71
2.4.2 旋转	73
2.4.3 圆球	73

2.4.4	偏移	74
2.4.5	扫描	76
2.4.6	迭层	94
2.4.7	混成	101
2.5	操作	104
2.5.1	修补	104
2.5.2	分割与修剪	110
2.5.3	撷取	113
2.5.4	转换	117
2.5.5	邻近	123
2.5.6	外插	125
2.6	约束	126
2.6.1	一般约束	126
2.6.2	对话框方式定义约束条件	127
2.7	分析	128
2.7.1	曲面连接性检查	128
2.7.2	曲线间隙检查	132
2.8	复制	133
2.8.1	重复应用	133
2.8.2	样式	136
2.8.3	Power Copy	141
2.9	模块连结	147
第 3 章	自由造型	148
3.1	进入自由造型单元	148
3.2	自由造型功能总览	148
3.3	曲线创建	151
3.3.1	空间曲线	151
3.3.2	表面上的曲线	157
3.3.3	投影曲线	158
3.3.4	配合曲线	159
3.3.5	圆角造型	161
3.3.6	链接曲线	164
3.4	曲面创建	165
3.4.1	绘制缀面	165
3.4.2	拉伸曲面	170
3.4.3	旋转	171
3.4.4	偏移	172
3.4.5	外插造型	174

3.4.6	连接曲面	175
3.4.7	填满	179
3.4.8	网状曲面	181
3.4.9	扫描造型	182
3.5	外形修正	185
3.5.1	对称	185
3.5.2	控制点修正	186
3.5.3	链接	202
3.5.4	外形配合	207
3.5.5	整体变形	208
3.5.6	延伸	210
3.6	操作	211
3.6.1	切割	211
3.6.2	去除修剪	213
3.6.3	连锁曲线	214
3.6.4	分段	215
3.6.5	拆解	216
3.6.6	转换	216
3.7	外形分析	219
3.7.1	连接性检查	219
3.7.2	曲率检查	219
3.7.3	切面分析	224
3.7.4	反射线	228
3.7.5	反曲线	230
3.7.6	距离分析	231
3.7.7	草图	235
3.7.8	影像映射	239
3.8	一般工具	243
3.8.1	使用装饰	243
3.8.2	移除显示	243
3.8.3	视觉对称	244
3.8.4	几何信息	245
3.8.5	指南针快速操作	246
3.8.6	更新	247
3.8.7	坐标系统	247
3.9	自定义观察方式	249
3.9.1	显示比例	249
3.9.2	操作方式	250
3.9.3	交互式视角定义	251

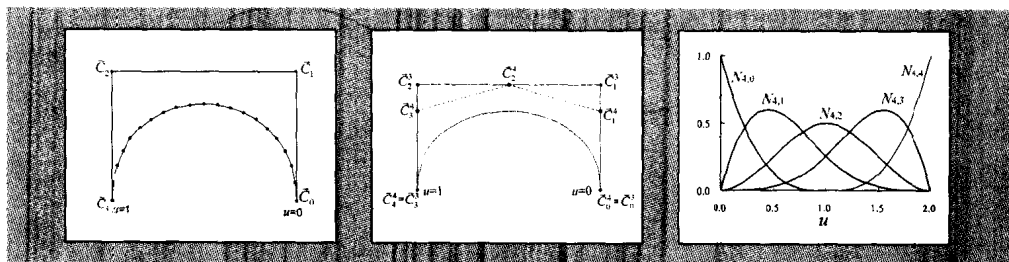
3.9.4 视角反向	251
3.9.5 前一个视角	252
3.9.6 下一个视角	252
3.10 范例实作	252
第4章 数字曲面编辑器	262
4.1 进入数字曲面编辑器	263
4.2 功能总览	264
4.3 加载点数据	266
4.3.1 载入	266
4.3.2 导出	268
4.4 编辑云点	269
4.4.1 删除	269
4.4.2 过滤	272
4.4.3 细部编辑	274
4.5 绘制交线	275
4.5.1 曲线投影	275
4.5.2 平面交线	276
4.5.3 云点交线	278
4.6 绘制曲线	279
4.6.1 空间中曲线	279
4.6.2 平面上的曲线	280
4.6.3 交线曲线	281
4.7 重置云点	283
4.7.1 校正云点	283
4.7.2 使用对准球对齐	285
4.7.3 平移校正	287
4.8 铺面	288
4.8.1 铺面	288
4.8.2 偏移	289
4.8.3 重建边线	290
4.8.4 补洞	291
4.9 云点运算	292
4.9.1 合并云点	292
4.9.2 合并网格	293
4.9.3 分割云点或多边形	293
4.10 云点分析	294
4.11 范例	296

第 5 章 渲染.....	305
5.1 进入渲染	306
5.2 渲染功能总览	306
5.3 场景编辑器	307
5.3.1 建立环境	307
5.3.2 建立灯光	311
5.3.3 建立摄影机	318
5.4 动画	319
5.4.1 建立旋转运动记录	319
5.4.2 模拟运动	321
5.4.3 产生影片	324
5.4.4 播放模拟运动	325
5.5 出图引擎	325
5.5.1 建立输出细项	325
5.5.2 渲染输出细项	330
5.5.3 快速渲染	332
5.6 选项设置	332
5.6.1 显示	333
5.6.2 输出设置	333
5.6.3 标签	334
5.7 范例	334

第 1 章 曲面模型的数学基础

三维实体的表示方法有多种：线架构、曲面模型与实体模型。线架构是使用点与曲线描述三维物体外形，而曲面模型使用点、曲线、曲面表示三维物体外形。不规则曲线与曲面一直为曲面模型探讨的目标。至于不规则曲线与曲面两种主要的数学表示方法为贝塞尔曲线(Bézier)与 B 样条曲线(B-spline)。

CATIA 曲面模型采用 B 样条曲线与贝塞尔曲线两种模式，并且互相支持运用。因此如果能对 B 样条曲线与贝塞尔曲线的数学理论有一些基本认识，对曲线与曲面的建构定有所帮助。



1.1 曲面模型

CATIA 软件中，曲面模型与自由造型两个模块扮演相当重要角色，不仅由于造价在全套模块中居冠，且功能强大。如果能熟知曲面模型的一些基本数学方法，对曲线、曲面模型的建立、修改等方面的操作，定能收到事半功倍的效果。

本书的第 2 章描述线架构与曲面的建构方式、第 3 章描述自由造型、第 4 章描述数字曲面编辑器，每一章的运作都需有强大的数学基础作后盾。

线架构是使用点与曲线描述三维的实体，但对于不规则曲面而言，线架构的数学模式有其瓶颈。

曲面模型探讨几何元素的数学表示方法。几何元素包括点、曲线、曲面等三大类。实体模型除了几何元素的数学表示方法外，还包括界线曲面的拓扑数据。

机械设计篇中的零件设计，所使用的理论基础为实体模型。实体模型对于物体所形成的空间均为封闭体积，且其几何元素具有拓扑关系。

1.1.1 点

空间中的点需有 x, y, z 坐标值。有理曲线、有理曲面所使用的控制点，除了 x, y, z 坐标值外，还需有权重值(请参考 1.8 节)。

1.1.2 曲线

曲线的几何元素包括以下几种：

- 直线, 如图 1.1(a)。
- 圆弧, 如图 1.1(b)。
- 椭圆, 如图 1.1(c)。
- 双曲线, 如图 1.1(d)。
- 抛物线, 如图 1.1(e)。
- 贝塞尔曲线, 如图 1.1(f)。
- B 样条曲线, 如图 1.1(f)。

贝塞尔曲线与 B 样条曲线两者用于定义不规则(free-form)曲线, 本书将贝塞尔曲线与 B 样条曲线通称为云形线。CATIA 使用云形线来近似圆锥曲线(椭圆、双曲线、抛物线)。

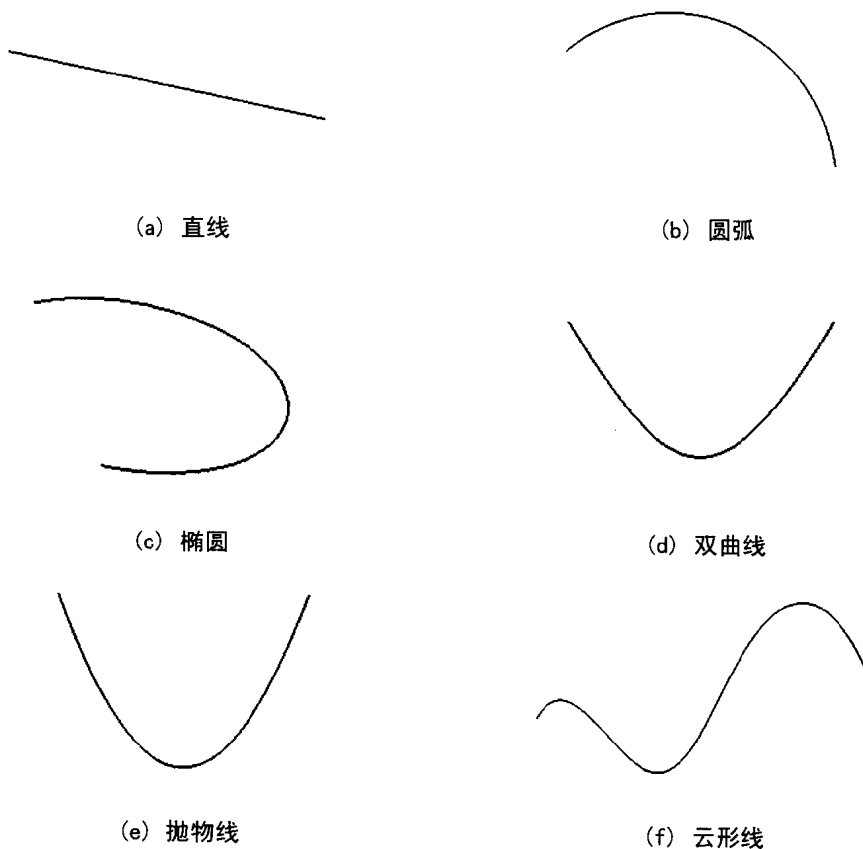


图 1.1

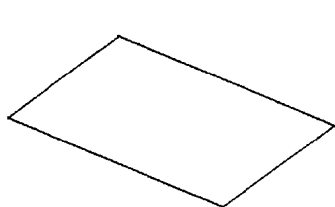
1.1.3 曲面

曲面的几何元素包括以下几种:

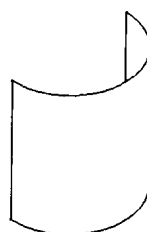
- 平面, 如图 1.2(a)。
- 圆柱面, 如图 1.2(b)。
- 圆锥面, 如图 1.2(c)。
- 球面, 如图 1.2(d)。

- 手环面(toroidal surface), 如图 1.2(e)。
- 拉伸曲面(surface of linear extrusion), 如图 1.2(f)。
- 回转曲面(surface of revolution), 如图 1.2(g)。
- 贝塞尔曲面, 如图 1.2(h)。
- B 样条曲面, 如图 1.2(h)。

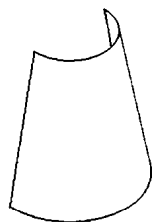
贝塞尔曲面与 B 样条曲面用于定义不规则(free-form)曲面。



(a) 平面



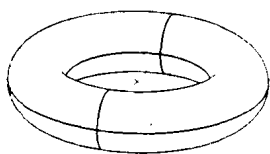
(b) 圆柱面



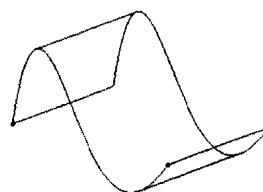
(c) 圆锥面



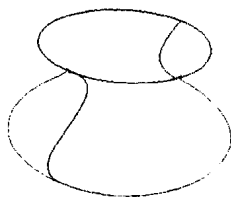
(d) 球面



(e) 手环面



(f) 拉伸曲面



(g) 回转曲面



(h) 云形曲面

图 1.2

1.2 复合曲线与复合曲面

曲线可分为单一曲线与复合曲线。单一曲线由两个数据点组合而成，而复合曲线由多个数据点所构成。

1.2.1 复合曲线

使用幂数 3 的多项式来表示空间中的曲线时(图 1.3)，三个坐标的参数方程式如下：

$$\begin{aligned} x(u) &= a_{3x} u^3 + a_{2x} u^2 + a_{1x} u + a_{0x} \\ y(u) &= a_{3y} u^3 + a_{2y} u^2 + a_{1y} u + a_{0y} \\ z(u) &= a_{3z} u^3 + a_{2z} u^2 + a_{1z} u + a_{0z} \end{aligned} \quad (1.1)$$

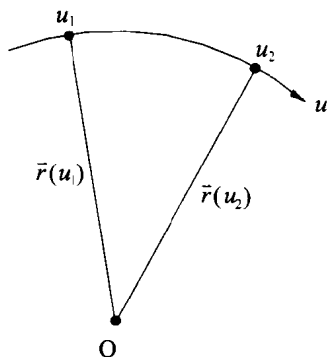


图 1.3

参数 u 的范围为 $[0,1]$ 。

方程式 (1.1) 可以用向量来表示，因此使用向量符号时，曲线的参数方程式变成如下的形式：

$$\bar{r}(u) = \bar{a}_3 u^3 + \bar{a}_2 u^2 + \bar{a}_1 u + \bar{a}_0 \quad (1.2)$$

$$\bar{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \bar{a}_3 = \begin{pmatrix} a_{3x} \\ a_{3y} \\ a_{3z} \end{pmatrix} \quad \bar{a}_2 = \begin{pmatrix} a_{2x} \\ a_{2y} \\ a_{2z} \end{pmatrix} \quad \bar{a}_1 = \begin{pmatrix} a_{1x} \\ a_{1y} \\ a_{1z} \end{pmatrix} \quad \bar{a}_0 = \begin{pmatrix} a_{0x} \\ a_{0y} \\ a_{0z} \end{pmatrix}$$

虽然不规则曲线可以使用多项式来表示，但是当不规则曲线的数据点数非常多时，多项式的幂数变得非常大，因此曲线计算耗时且易造成不稳定。因此通常将曲线分割成一些较小的线段，这些小线段称为曲线线段(curve segment)。每一小线段仅使用较低阶的多项式来近似即可，最后再将这些小线段两两连接起来，如图 1.4 所示。

两条曲线连接时，就必须考虑连续性的问题，连续性可能有点连续(或称 C^0 连续)、切线连续(或称 C^1 连续)、曲率连续(或称 C^2 连续)。各种连续性所需要的条件如下：

- 点连续：两连接曲线的端点坐标必须重合，如图 1.5(a)所示。
- 切线连续：两连续曲线端点的坐标、切线向量必须重合，如图 1.5(b)所示。
- 曲率连续：两连续曲线端点的坐标、切线向量、曲率中心必须重合，如图 1.5(c)

所示。

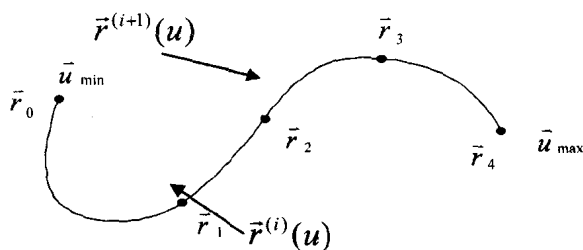
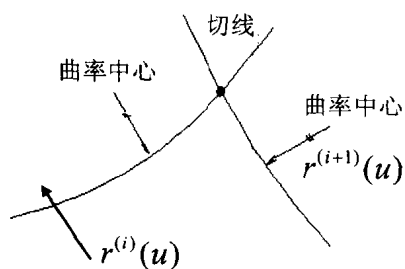
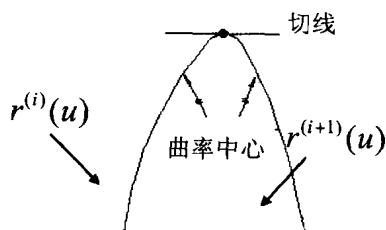


图 1.4



(a)



(b)



(c)

图 1.5

为了确保曲线连接时的平滑度，连续性需要满足曲率连续的需求。

复合曲线的参数值范围为 $u_{\min}$ 至 $u_{\max}$ ， $u_{\min} \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_i \leq \dots \leq u_{\max}$ 。一些参数的特定值就称为节点(knot)，节点的主要目的是用来计算不规则曲线的内插函数，参数值在每一小线段从 u_i 变化至 u_{i+1} 。对贝塞尔曲线而言，每一小线段所定义的范围为 $0 \sim 1$ ，因此对贝塞尔曲线而言，使用参数局部坐标系。

$$\tilde{u} = \frac{u - u_i}{u_{i+1} - u_i} \quad 0 < \tilde{u} < 1 \quad (1.3)$$

对于 B 样条曲线，其参数坐标从 $u_{\min}$ 至 $u_{\max}$ ，采用广域坐标系。

1.2.2 复合曲面

曲面也是使用参数方程式来表示, 其参数方程式如下:

$$\vec{r}(u, v) = (\vec{a}_3 u^3 + \vec{a}_2 u^2 + \vec{a}_1 u + \vec{a}_0)(\vec{b}_3 v^3 + \vec{b}_2 v^2 + \vec{b}_1 v + \vec{b}_0) \quad (1.4)$$

如同曲线线段, 不规则曲面也是切割成一小块, 每一小块使用方程式 (1.4) 来表示。每一小块称为缀面(Patch)。最后再将两两相邻的缀面以连续性相连接, 即完成曲面的创建。缀面为四方形网状格子点, 每一缀面有四个边界曲线, 如图 1.6 所示。

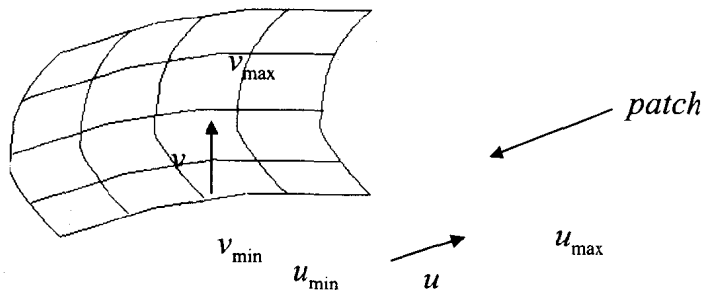


图 1.6

1.3 贝塞尔曲线的表示方法

贝塞尔曲线的每一个曲线线段(如图 1.7 所示)可以使用如下的参数方程式表示。

$$\vec{r}(u) = \sum_{i=0}^k \vec{r}_i f_i(u) \quad u \in [0,1] \quad (1.5)$$

其中, $\vec{r}_i$ 代表 $k+1$ 个控制点; $f_i(u)$ 代表贝塞尔曲线的内插函数。

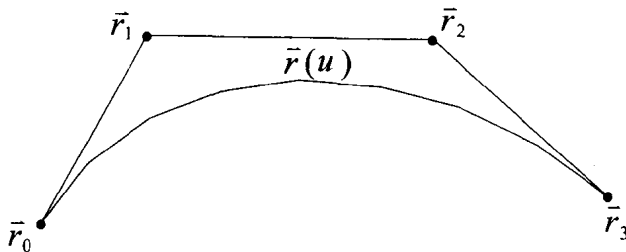


图 1.7

贝塞尔曲线采用 Bernstein 的多项式作为贝塞尔曲线的内插函数(interpolation function)。

$$\vec{r}(u) = \sum_{i=0}^k \vec{r}_i B_{k,i}(u) \quad u \in [0,1] \quad (1.6)$$

其中 $B_{k,i} = C(k,i)u^i(1-u)^{k-i}$, $C(k,i)$ 为二项式定理所定义的系数值。

$$C(k,i) = \frac{k!}{i!(k-i)!} \quad (1.7)$$

如果贝塞尔曲线有 $(k+1)$ 个控制点, 其 $B_{k,i}$ 的多项式的幂数为 k , 而阶数为 $k+1$, 因此使用 4 个控制点, 贝塞尔曲线的参数方程式可以表示为:

$$\begin{aligned}\bar{r}(u) &= (1-u)^3 \bar{r}_0 + 3u(1-u)^2 \bar{r}_1 + 3u^2(1-u) \bar{r}_2 + u^3 \bar{r}_3 \\ &= B_{3,0}(u) \bar{r}_0 + B_{3,1}(u) \bar{r}_1 + B_{3,2}(u) \bar{r}_2 + B_{3,3}(u) \bar{r}_3\end{aligned}\quad (1.8)$$

$B_{3,0}$, $B_{3,1}$, $B_{3,2}$, $B_{3,3}$ 的内插函数如图 1.8 所示。

贝塞尔曲线的控制点 $\bar{C}_0$, $\bar{C}_1$, $\bar{C}_2$, $\bar{C}_3$ 如图 1.9 所示, 其中 $\bar{C}_0 = (100, 0, 0)$, $\bar{C}_1 = (100, 100, 0)$, $\bar{C}_2 = (-100, 100, 0)$, $\bar{C}_3 = (-100, 0, 0)$, 则贝塞尔曲线的参数方程式如下:

$$\bar{r}(u) = (1-u)^3 \bar{C}_0 + 3u(1-u)^2 \bar{C}_1 + 3u^2(1-u) \bar{C}_2 + u^3 \bar{C}_3 \quad (1.9)$$

将 $u=0.0, 0.05, 0.1, \dots, 0.9, 0.95, 1.0$ 代入上式, 参数方程式在任何参数 u 值的坐标值如表 1.1 所示。

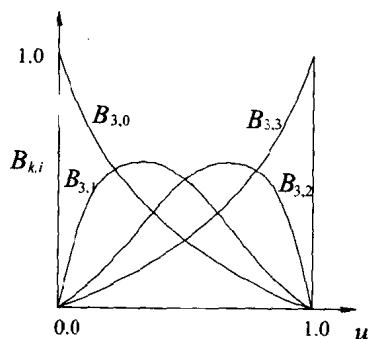


图 1.8

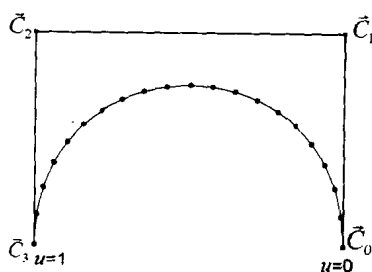


图 1.9

表 1.1

参数值	坐标值			参数值	坐标值		
	x	y	z		x	y	z
0.00	100	0	0	0.55	-14.95	74.25	0
0.05	98.55	14.25	0	0.60	-29.60	72.00	0
0.10	94.40	27.00	0	0.65	-43.65	68.25	0
0.15	87.85	38.25	0	0.70	-56.80	63.00	0
0.20	79.20	48.00	0	0.75	-68.75	56.25	0
0.25	68.75	56.25	0	0.80	-79.20	48.00	0
0.30	56.80	63.00	0	0.85	-87.85	38.25	0
0.35	43.65	68.25	0	0.90	-94.40	27.00	0
0.40	29.60	72.00	0	0.95	-98.55	14.25	0
0.45	14.95	74.25	0	1.00	-100.0	0.0	0
0.50	0.0	75.00	0				

将连续的两点以一条直线连接, 就可得到一条贝塞尔曲线的外形。如将任意两点的参数值改为较小值, 则连接起来的线段将较为平滑, 也比较接近实际的贝塞尔曲线。