

Pro/ENGINEER Wildfire 2.0

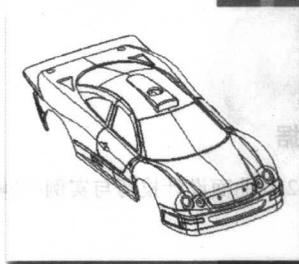
曲面设计技巧与实例

杨峰 黄效贺 编著



- 部分实例操作演示文件
- 范例文件

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



Pro/ENGINEER Wildfire 2.0

曲面设计技巧与实例

杨 峰 黄效贺 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 是 PTC 公司推出的 Pro/ENGINEER 野火系列的第二个版本,在野火第一版本的基础上对软件进行了很大的改进。本书着重讲解用 Pro/ENGINEER 软件进行曲面造型设计的技巧和设计思想,注重结合实际操作是本书的一大特点。

此书是为具有一定 Pro/ENGINEER 使用经验的读者而创作,但同时也可作为一本入门的书籍使用。

图书在版编目(CIP)数据

Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 曲面设计技巧与实例/杨峰,黄效贺编著. —北京:中国铁道出版社,2005.3
(2005.11 重印)

ISBN 7-113-06439-6

I. P… II. ①杨…②黄… III. 曲面-机械设计:计算机辅助设计-应用软件,Pro/ENGINEER Wildfire 2.0
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 022426 号

书 名: Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 曲面设计技巧与实例
作 者: 杨 峰 黄效贺
出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
责任编辑: 苏 茜 李新承
封面制作: 白 雪
印 刷: 北京市兴顺印刷厂
开 本: 787×1092 1/16 印张: 24.75 字数: 599 千
版 本: 2005 年 4 月第 1 版 2005 年 11 月第 2 次印刷
印 数: 5001~7000 册
书 号: ISBN 7-113-06439-6/TP·1454
定 价: 42.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社计算机图书批销部调换。

前言

Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 是 PTC 公司推出的 Pro/ENGINEER 野火系列的第二个版本, 在野火第一版本的基础上对软件进行了很大的改进。功能更加强大, 操作界面和操作方式更加接近于 Windows 软件的标准。集成了 CDRS 和 Geomagic 等软件的功能后, 使它拥有了全方位的解决方案。

Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 是 PTC 公司秉持“产品第一”的理念推出的又一力作, 将在 MCAD 业界引起新一轮的变革。作为一款功能强大的集成软件, 学习它殊为不易。希望此书能为学习 Pro/ENGINEER 软件的广大读者提供一条捷径。下面将略为介绍本书的框架和特色。

本书框架

本书在主要讲解曲面造型的同时对产品结构设计也进行一定的介绍。笔者之所以要如此安排是因为面对竞争日益激烈的市场, 一个产品要获得消费者的青睐, 首先, 它要有漂亮的外形, 其次简单、实用的产品结构也是不可或缺的因素之一。市场对产品设计师提出了新的要求和挑战, 需要产品设计师同时具备上述两方面的素质。

书中将分 8 章分别介绍曲面造型的历史和发展趋势、Pro/ENGINEER 基础和高级曲面特征的创建、ISDX (造型) 模块的应用、曲线和曲面质量的检测方法、曲面造型的相关技巧和曲面实体混合建模及产品渲染等内容。

在第 2、3 章中介绍 Pro/ENGINEER 基础和高级曲面命令, Pro/ENGINEER 基础和高级曲面命令有其独到的用处, 灵活地运用能收到异曲同工之妙。

在第 4 章首先将以灯罩构建过程来讲解 ISDX (造型) 模块的具体应用, 为读者展现 ISDX 模块强大和灵活的曲面构建和编辑功能。在此章中有大量拆面方法和技巧的讲解。经过数个案例的演练, 读者将深深地体会到曲面的构建就像做几何题目一般, 往往添加一、两条辅助线就能达到“山穷水复疑无路, 柳暗花明又一村”的效果。在本章的最后将以市场上流行的电水壶为原型, 引入功能——Trace Sketch (跟踪草绘) 命令。在 ISDX 模块中只需导入几张图片, 就能构建出逼真的三维数字模型。

曲面的质量往往是后续结构设计的关键所在。如果曲面的质量不理想会给结构设计和制造加工带来无尽的烦恼。在第 5 章将带读者详细了解各种曲面检测的方法, 它们分别是高斯曲面分析、拔模分析和反射分析 (又称斑马纹分析) 等。

在第 6 章中将介绍相关曲面造型的技巧。充分利用软件所提供的功能达到设计意图将是本章讲解的重点之一。另外, 家电产品中常见的渐消失面的创建和如何利用三条边界创建高质量曲面的问题也是本章所要重点探讨的内容。

前面笔者曾说过漂亮的外形是产品获得成功的前提, 那么合理的结构就是产品成功的关键所在。曲面模式对于描述产品复杂的外形具有先天的优势, 而实体模式是产品结构设计的核心。曲面和实体两种模式, 在日常设计中经常交互使用。在本书的第 7 章中将通过两个案例来展现 Pro/ENGINEER 软件强大的曲面实体混合建模功能。

Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 的渲染技术日臻完善, 能获得照片级的效果, 便于产品的

展示和交流。PHOTORENDER 模块将是本书最后要讨论的内容。

相信读者在学完此书后加上个人的努力, 对自己的设计观念和对 Pro/ENGINEER 软件的理解都能更上一层楼。

此书特色

- 实务性: 本书摒弃了传统软件命令的介绍和讲解。从实例入手通过实例进行软件命令的讲解, 这样做的好处是使读者在创建各特征后对该命令有更深的心得和认识。
- 理论性: 本书不仅介绍了软件的操作和实例的制作过程, 而且着重介绍了曲面设计的基本理论知识。使读者拥有进入此行业的理论背景。笔者相信只有理论和实践相结合, 才能成为一个优秀的工程技术人员。
- 层次性: 首先此书是为具有一定 Pro/ENGINEER 使用经验的读者创作的, 但它同时也可以作为一本入门的书籍使用。此书的初、中、高比例分别为 3、4、3。

技术支持

笔者作为一个有多年产品设计和模具开发经验的工程师, 深知要真正精通专业的工程设计软件, 非一日之功, 交流对于学习是一个很重要的手段。欢迎广大读者发电子邮件到本人的电子信箱 yf1115@nbip.net, 本人将尽力进行相关问题的解答。

本书所述内容的软件环境为 Pro/ENGINEER Wildfire 2.0, 也可以作为 Pro/ENGINEER 2001、Pro/ENGINEER 2000 I2、Pro/ENGINEER 2000I 和 Pro/ENGINEER Wildfire 1.0 的参考教材。并对以后流行的 Pro/ENGINEER 软件有很强的借鉴意义。

本书写作历时半年, 将各种 Pro/ENGINEER 软件和产品设计、曲面造型资料加以整理和提炼, 并结合实际工作当中的产品模型作为练习写成此书。本书着重讲解 Pro/ENGINEER 软件进行产品、曲面造型的技巧和软件的设计思想是与其他书籍的最大不同之处。注重结合实际操作是本书的一大特点。谨以此书献给国内的产品设计工作者和爱好者, 希望为读者在激烈的竞争中略尽绵薄之力。

由于时间仓促、水平有限, 此书虽经努力斟酌, 但疏漏之处在所难免, 望诸同行给予批评指正。

最后是感谢! 首先感谢我的父母和女友对我写作的一贯支持。同时这本书的出版也和下列人员: 杨家春、李菊花、李江波、李立华、杨冰峰、姚冲杰、傅晓男、胡益波、崔涛、胡建杰、王海英、钱志华、包伟琴、魏会清、李敏、王义来、王剑、潘秀赞、安晋东和傅杰等的支持是分不开的, 他们参与了部分章节的编写, 收集了大量资料, 制作了实例录屏文件。感谢鲁运连、李秋、李建勋完成该书的编排工作。

本书适用于各类专业技术人员及在校的工科班学生使用。

编 者

目 录

第 1 章 曲面造型综述	1
1-1 曲面造型的历史	1
1-2 曲面造型的发展趋势	1
1-3 当今几种 CAD/CAM 系统的曲面功能评述	2
1-4 曲线、曲面数学表达式	3
1-5 曲面造型的方法	4
1-6 家电产品造型技巧	7
1-6-1 化整为零, 各个击破	7
1-6-2 建立光顺的曲面片控制线	7
1-6-3 将轮廓线删繁就简再构造曲面	8
1-6-4 从模具的角度考虑	8
1-6-5 曲面光顺评估	8
1-7 NURBS 曲面的特性及曲面连续性定义	8
1-7-1 NURBS 曲面的特性	8
1-7-2 曲面 G1 与 G2 连续性定义	9
第 2 章 基础曲面案例演练	11
2-1 连杆	11
2-2 高脚酒杯	19
2-3 五角星	23
2-4 综合演练——足球	28
第 3 章 高级曲面案例演练	55
3-1 花朵	55
3-2 田螺壳	60
3-3 鼠标面	65
3-4 综合演练——卡通玩具	73
第 4 章 ISDX 模块案例演练	131
4-1 灯罩	131
4-2 显示器	145
4-3 剃须刀	165
4-4 综合演练——电水壶逆向造型	182

第 5 章 曲线、曲面信息与分析	223
5-1 Curvature (曲率) 分析	224
5-2 Gaussian Curvature (高斯曲率) 分析	226
5-3 Reflection (反射) 分析	229
5-4 Radius (半径) 分析	229
5-5 Point (点) 信息	232
5-6 Offset (偏移) 分析	233
5-7 Sections (剖面) 分析	234
5-8 Draft (拔模) 分析	236
第 6 章 曲面造型综合技巧演练	239
6-1 Boundary Blend (边界混合) 命令在按钮类造型中的妙用	239
6-2 渐消失曲面的创建技巧	243
6-3 在拔模曲面内创建恒定角度的相切拔模特征	256
6-4 IGES 文件的修复	268
6-5 在 PART 模块中创建模具分型面及在不同模块之间进行数据有效传递	280
6-6 使用三条边界创建高质量的曲面	289
6-7 利用 WARP (扭曲) 命令创建拉簧	299
6-8 使用 Toroidal Bend (环形折弯) 命令创建轮胎	303
6-9 曲面展开与实体特征折弯	313
第 7 章 曲面实体混合建模案例演练	319
7-1 塑料卡钩	319
7-2 汽车车身设计	353
第 8 章 渲染与案例演练	361
8-1 PHOTORENDER (渲染) 模块简介与操作步骤	361
8-1-1 Rendering (渲染) 的种类与特点	361
8-1-2 Render Control (渲染控制) 工具条访问路径及各命令简介	361
8-1-3 渲染的基本操作步骤	362
8-2 PHOTORENDER (渲染) 案例演练	365
附录 A 软件安装及操作界面简介	371
附录 B 塑料产品结构优化设计	383

1

Chapter

曲面造型综述

曲面造型 (Surface Modeling) 是计算机辅助几何设计 (Computer Aided Geometric Design, 简称 CAGD) 和计算机图形学 (Computer Graphics) 的一项重要内容, 主要研究在计算机图像系统的环境下对曲面的表示、设计、显示和分析。

经过近 30 多年的发展, 曲面造型现在已形成了以有理 B 样条曲面 (Rational B-spline Surface) 参数化特征设计和隐式代数曲面 (Implicit Algebraic Surface) 表示这两类方法为主体, 以插值 (Interpolation)、拟合 (Fitting)、逼近 (Approximation) 这三种手段为骨架的几何理论体系。

1-1 曲面造型的历史

形状信息的核心问题是计算机表示, 即要解决既适合计算机处理, 且有效地满足形状表示与几何设计要求, 又要便于形状信息传递和产品资料交换的形状描述的数学方法。1963 年美国波音飞机公司的 Ferguson 首先提出将曲线曲面表示为参数的矢量函数方法, 并引入参数三次曲线。从此曲线曲面的参数化形式成为形状数学描述的标准形式。1971 年法国雷诺汽车公司的 Bezier 提出一种控制多边形设计曲线的新方法, 这种方法不仅简单易用, 而且漂亮地解决了整体形状控制问题, 把曲线曲面的设计向前推进了一大步, 为曲面造型的进一步发展奠定了坚实的基础。但 Bezier 的方法仍存在连接问题和局部修改问题。直到 1975 年美国 Syracuse 大学的 Versprille 首次提出有理 B 样条方法, 终于使非均匀有理 B 样条 (NURBS) 方法成为现代曲面造型中最为广泛流行的技术。NURBS 方法的提出和广泛流行是生产发展的必然结果。

NURBS 方法的突出优点是: 可以精确地表示二次规则曲线曲面, 从而能用统一的数学形式表示规则曲面与自由曲面, 而其他非有理方法无法做到这一点; 具有可影响曲线曲面形状的权因子, 使形状更宜于控制和实现; NURBS 方法是非有理 B 样条方法在四维空间的直接推广, 多数非有理 B 样条曲线曲面的性质及其相应算法也适用于 NURBS 曲线曲面, 便于继承和发展。

1-2 曲面造型的发展趋势

随着计算机图形显示对于真实性、实时性和交互性要求的日益增强, 随着几何设计对

象向多样性、特殊性和拓扑结构复杂性这一趋势靠拢,随着图形工业和制造工业迈向一体化、集成化和网络化步伐的日益加快,随着激光测距扫描等三维数据采样技术和硬件设备的日益完善,曲面造型近几年得到了长足的发展,这主要表现在研究领域的急剧扩展和表示方法的开拓创新。

- (1) 从研究领域来看,曲面造型技术已从传统的研究曲面表示、曲面求交和曲面拼接,扩充到曲面变形、曲面重建、曲面简化、曲面转换和曲面等距性等。
- (2) 从表示方法来看,以网格细分(Subdivision)为特征的离散造型与传统的连续造型相比,大有后来居上的创新之势。这种曲面造型方法在生动逼真的特征动画和雕塑曲面的设计加工中如鱼得水,得到了高度的运用。
- (3) 几种新的曲面造型方法:①基于物理模型的曲面造型方法。②基于偏微分方程(PDE)的曲面造型方法。③流曲线曲面造型。

1-3 当今几种 CAD/CAM 系统的曲面功能评述

美国 SDRC 公司的 I-DEAS Master Series 软件采用 VGX(超变量化)技术,用户可以直观、实时地进行三维产品的设计和修改。VGX 有如下优点:不必像参数化造型系统那样要求模型“全约束”,在全约束及非全约束的情况下均可顺利地完成任务;模型修改不必拘泥于造型历史树,修改可基于造型历史树,也可超越造型历史树;可直接编辑任意三维实体特征,无须回到生成此特征的二维线框初始状态;可就地以拖动方式随意修改三维模型;模型修改许可形状及拓扑关系发生变化,而不像参数技术那样仅仅是尺寸的数据发生变化。

该软件的曲面模块是建立复杂雕塑曲面的快捷工具,它基于双精度 NURBS 与实体模型完全集成。它支持各种曲线曲面造型方法,如拉伸、旋转、放样、扫描、网格等,强大的变量扫描支持变截面、多轨迹线以及尺寸驱动。其结果是一个曲面集合或具有拓扑关系的曲面实体模型。该模型可参与全部几何造型操作、干涉检查、物性计算等。该软件较完整地解决了主要的曲面造型问题。

美国 Unigraphics Solutions 公司的 UG 源于航空业、汽车业,以 Parasolid 几何造型核心为基础,采用基于约束的特征建模和传统的几何建模为一体的复合建模技术。其曲面功能包含于 Freeform Modeling 模块之中,采用了 NURBS、B 样条、Bezier 数学基础,同时保留解析几何实体造型的方法,造型能力较强。其曲面建模完全集成在实体建模之中,并可独立生成自由形状形体以备实体设计时使用。而许多曲面建模操作可直接产生或修改实体模型,曲面壳体、实体与定义它们的几何体完全相关。UG 的实体化曲面处理能力是其主要特征和优势。

美国 PTC 公司的 Pro/ENGINEER 以其参数化、基于特征、全相关等新概念闻名于 CAD 界,其曲面造型集中在 Pro/SURFACES 和 Pro/ISDX 模块。其曲面的生成、编辑能力覆盖了曲面造型中的主要问题,主要用于构造表面模型、实体模型,并且可以在实体上生成任意凹下或凸起物等。尤其是可以将特殊的曲面造型实例作为一种特征加入特征库中。Pro/ENGINEER 自带的特征库就含有如下特征:复杂拱形表面、三维扫描外形、复杂的非平行或旋转混合、混合/扫描、管道等。

美国 IBM 公司的 CATIA 是一个广泛的 CAD/CAM/CAE/PDM 应用系统。该系统有关曲面的模块包括:曲面设计(Surface design)、高级曲面设计(Advanced surface design)、自由外形设计(Free form design)、整体外形修形(Global shape deformation)等。CATIA



外形设计和风格设计解决方案为设计零件提供了广泛的集成化工具。该系统具有很强的曲面造型功能。

1-4 曲线、曲面数学表达式

长期以来,随着研究的深入和大量生产实践的促进,在曲线和曲面的参数化数学表示及 CAD/CAM 应用中都取得了很大的进展,多种曲线、曲面被广泛应用。在此主要介绍其中最基本的一些曲线、曲面的理论及构造方法。

1. 贝塞尔(Bezier)曲线与曲面

Bezier 曲线与曲面是法国雷诺公司的 Bezier 在 1962 年提出的一种构造曲线曲面的方法,是三次曲线的形成原理,这是由 4 个位置矢量 Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 定义的曲线。通常将 $Q_0, Q_1, \dots, Q_n$ 组成的多边形折线称为 Bezier 控制多边形,多边形的第一条折线和最后一条折线代表曲线的起点和终点的切线方向,其他曲线用于定义曲线的阶次与形状。Bezier 曲线的一般数学表达式为:

$$p(t) = \sum_{i=0}^n B_{i,n}(t) Q_i \quad (0 \leq t \leq 1)$$

表达式中 Q_i 为各顶点的位置矢量, $B_{i,n}(t)$ 为伯恩斯坦(Bernstein)基函数,并有:

$$B_{i,n}(t) = \frac{n!}{i!(n-i)!} t^i (1-t)^{n-i}$$

2. B 样条曲线与曲面

B 样条曲线继承了 Bezier 曲线的优点,仍采用特征多边形及权函数定义曲线,所不同的是权函数不采用伯恩斯坦基函数,而采用 B 样条基函数。B 样条基函数的定义为:

$$E_{i,n}(t) = \frac{1}{n!} \sum_{j=0}^{n-1} (-1)^j C_{n+1}^j (t+n-i-j)^n$$

表达式中, i 是基函数的序号, $i = 0, 1, 2, \dots, n$; n 是样条的次数, j 表示一个基函数是由哪几项相加。

B 样条曲线与特征多边形十分接近,同时便于局部修改。与 Bezier 曲面生成过程相似,由 B 样条曲线可很容易推广到 B 样条曲面。

3. 非均匀有理 B 样条(NURBS)曲线与曲面

近年来,随着实体建模技术不断成熟,需要一种将曲面实体融为一体的表示方法,因而非均匀有理 B 样条技术获得了较快的发展和应用。其主要原因在于 NURBS 技术提供了对标准解析几何和自由曲线、曲面的统一数学描述方法,它可通过调整控制顶点和因子,方便地改变曲面的形状,同时也可方便地转换对应的 Bezier 曲面,因此 NURBS 方法已成为曲线、曲面建模中最为流行的技术。STEP 产品数据交换标准也将非均匀有理 B 样条(NURBS)作为曲面几何描述的惟一方法。

非均匀有理 B 样条(NURBS)曲线的定义如下:

给定 $n+1$ 个控制点 $p_i (i=1, 2, \dots, n)$ 及权因子 $W_i (i=1, 2, \dots, n)$, 则 k 阶 ($k-1$) 次 NURBS 曲线表达式为:

$$C(u) = \sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) W_i P_i / \sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) W_i$$

表达式中 $N_{i,k}(u)$ 为非均匀 B 样条基函数。

1-5 曲面造型的方法

曲面造型的方法有多种, 下面介绍最常见的几种方法。

1. 线性拉伸面

将一条剖面 $C(u)$ 沿方向 D 滑动所扫描形成的曲面, 称为线性拉伸面, 如图 1-1 所示。

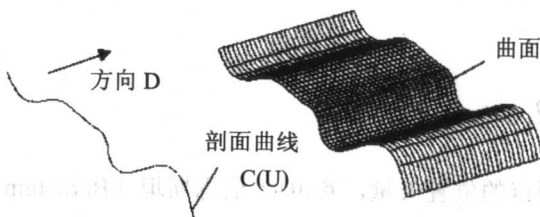


图 1-1

2. 直纹面

两条形状相似的曲线 $C1$ 和 $C2$, 且两者具有相同的次数和相同的节点矢量, 将这两条曲线上参数相同的对应点用直线段相连, 便构成直纹面, 如图 1-2a 所示。圆柱面、圆锥面其实都是直纹面。如图 1-2b 所示为直纹面构成的“天圆地方”。

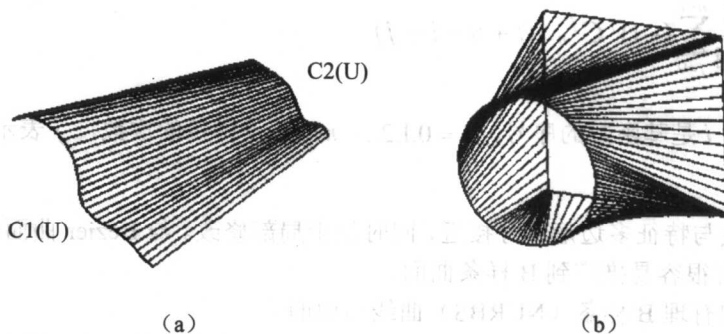


图 1-2

当构成直纹面的两条边界曲线具有不同的阶数和不同的节点分割时, 需要首先运用升阶公式将次数较低的一条曲线提高到另一条曲线的相同次数, 然后插入节点, 使两条曲线的节点序列相等。同时, 构成直纹面的两条曲线的走向必须相同, 否则曲面将会出现扭曲。

3. 旋转面

旋转面的生成方法是先在某个坐标平面内定义一条母线 Q , 将 Q 沿着某一旋转轴旋转



即可得到旋转面，如图 1-3 所示。

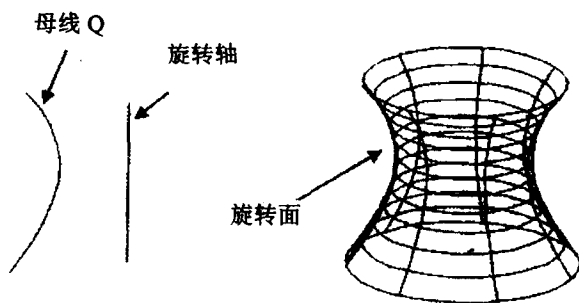


图 1-3

若绕旋转轴旋转 360° ，就得到一个完整的旋转面。若只是绕旋转轴旋转了某个角度，则得到一个不完整的旋转面。

4. 扫描面

生成扫描面的方法很多，最简单的方法是用一条截面（剖面）线沿着另一条曲线（引导线）扫描而形成曲面，它适用于具有相同构形规则的场合，如图 1-4 所示。除此之外，还可使用多条截面线和多条引导线，截面线形状可以不同，可以封闭也可以不封闭，生成扫描时，软件会自动过渡，生成光滑连续的曲面。

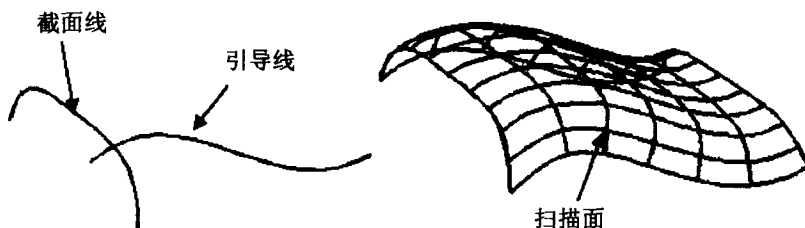


图 1-4

如图 1-5 所示是给出了两条截面线和一条引导线生成的扫描面。要求生成的曲面从截面线 1 光滑过渡到截面线 2，这时构造曲面带有灵活性，因为光滑过渡设有惟一的定义。如图 1-6 所示中给出了 4 条截面线和两条引导线生成的扫描面。

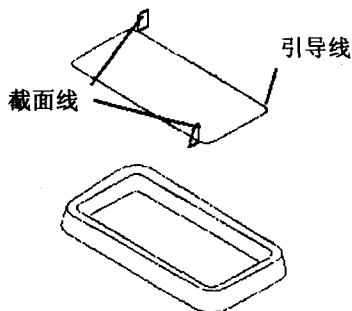


图 1-5

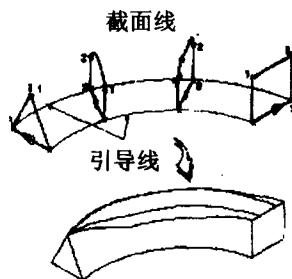


图 1-6

5. 放样面

放样面是以一系列曲线为骨架进行形状控制，且通过这些曲线蒙面生成曲面。放样面一般用 NURBS 表示，如图 1-7 所示。在放样面中，第一条和最后一条骨架曲线都可以是曲面的边界，放样面在通过每一条骨架曲线的同时，能够和两个曲面保持光滑相连。

6. 网格曲面

网格面是在两组相互交叉，形成一张网格骨架的截面曲线上生成的曲面。

网格曲面生成的思想是首先构造出曲面的特征网格线（UV 线），比如曲面的边界线和曲面的截面线来确定曲面的初始骨架形状，然后用自由曲面插值特征网格生成曲面，如图 1-8 所示。

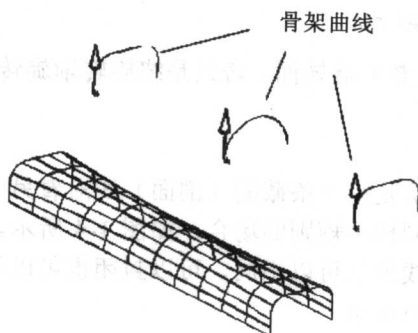


图 1-7

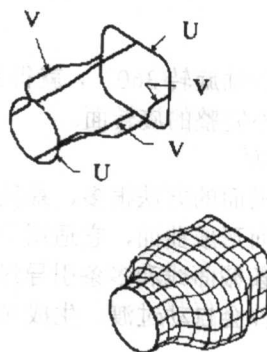


图 1-8

由于采用不同方向上的两组截面线形成一个网格骨架，控制两个方向的变化趋势，使特征网格线能基本上反映出设计者想要的曲面形状，在此基础上插值网格骨架生成的曲面必然将满足设计者的要求。如图 1-9 所示是网格曲面的例子。

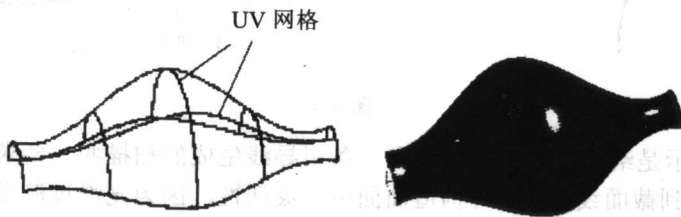


图 1-9

7. 等距曲面

机械加工或钣金零件在装配时为了得到光滑的外表面，往往需要确定一个曲面的等距曲面，例如，数控加工时使用球铣刀，铣刀中心的走刀轨迹求解即为构成被加工曲面的等距面。

现在 CAD 的理论和实践表明，目前还没有比较理想的曲面等距面生成算法，常用的等距面的生成方法一般是先将原始曲面离散细分，然后求取原始曲面离散点上的等距点，最后将这些等距点拟合成等距面。其步骤如下：

(1) 根据原始曲面形态及离散精度要求，将原始曲面进行细分，求得原始曲面上的离散点（du）。

(2) 根据曲面外法向矢量方向，求得原始曲面上的所有离散点处的单位法向矢量（nu）。



(3) 求原始曲面上所有离散点的等距点 (pu)。

$$P_{\mu} = d_{\mu} + Rn_{\mu} \quad t_{\alpha} \leq t \leq t_{\beta}$$

表达式中, R 为等距点和原始曲面之间的距离。

(4) 用三次 B 样条曲面或 NURBS 曲面拟合等距点, 生成等距面。实际应用中, 可直接采用等距点网格作为等距面。

构造等距面的例子如图 1-10 所示。

构造等距面有不少难点: 比如等距面不一定惟一存在; 等距面可能出现退化情况, 如原始面的一部分在等距面上消失, 如图 1-11a 所示; 等距面产生自相交的现象, 如图 1-11b 所示。当遇到这些情况需要做出特殊处理。

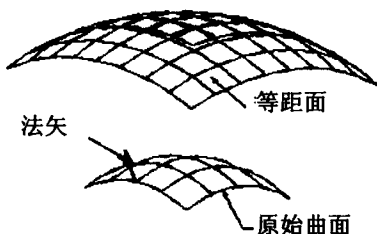


图 1-10

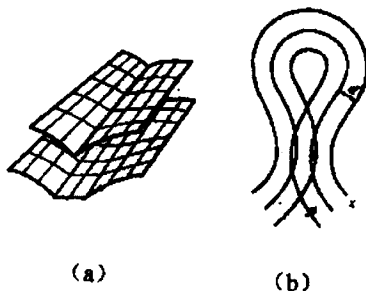


图 1-11

1-6 家电产品造型技巧

家电产品的外观形状多由自由型曲线曲面组成, 其共同点是必须保证曲面光顺。曲面光顺从直观上可以理解为保证曲面光滑而且圆顺, 不会引起视觉上的凸凹感, 从理论上是指具有二阶几何连续, 不存在奇点与多余拐点, 曲率变化较小以及应变较小等特点。要保证构造出来的曲面既光顺又能满足一定的精度要求, 就必须掌握一定的曲面造型技巧。

1-6-1 化整为零, 各个击破

用一张曲面去描述一个复杂的家电产品外形是不切实际和不可行的, 这样构造的曲面往往会不光顺, 产生大的变形。这时可根据应用软件曲面造型方法, 结合产品的外形情况, 将其划分为多个区域来构造几张曲面, 然后将其缝合, 或用过渡面与其连接。当今的三维 CAD 系统中的曲面几乎都是定义在四边形域上。因此, 在划分区域时, 应尽量将各个子域定义在四边形域内, 即每个子面片都具有四条边。而在某一边退化为点时构成三角形域, 这样构造的曲面也不会在该点处产生大的变形。

1-6-2 建立光顺的曲面片控制线

曲面的品质与生成它的曲线即控制线有密切关系。因此, 要保证光顺的曲面, 必须有光顺的控制线。曲线的品质主要考虑以下几点: ① 满足精度要求; ② 曲率主方向尽可能一致; ③ 曲线曲率要大于将做圆角过渡的半径值。在建立曲线时, 利用投影、插补、光顺等手段生成样条曲线, 然后通过其曲率图的显示来调整曲线段函数次数、迭代次数、曲线

段数量、起点及终点结束条件、样条刚度参数值等来交互式地实现曲线的修改，达到其光滑的效果。有时通过线束或其他方式生成的曲面发生较大的波动，往往是因为构造样条曲线的 u 、 v 参数分布不均或段数参差不齐引起的。这时可通过将这些空间曲线进行参数一致性调整，或生成足够数目的曲线上的点，再通过这些点重新拟合曲线。在曲面片之间实现光滑连接时，首先要保证各连接面片间具有公共边，更重要的一点是要保证各曲面片的控制线连接要光滑，这是保证面片连接光滑的必要条件。此时，可通过修改控制线的起点、终点约束条件，使其曲率或切矢在接点保证一致。

1-6-3 将轮廓线删繁就简再构造曲面

我们看到的曲面轮廓往往是已经修剪过的，如果直接利用这些轮廓线来构造曲面，常常难以保证曲面的光滑性，所以造型时在满足零件的几何特点前提下，可利用延伸、投影等方法将 3d 轮廓线还原为 2d 轮廓线，并去掉细节部分，然后构造出“原始”曲面，再利用面的修剪方法获得曲面外轮廓。

1-6-4 从模具的角度考虑

产品三维造型的最终目的是制造模具。家电产品零件大多由模具生产出来，因此，在三维造型时，要从模具的角度去考虑，在确定产品出模方向后，应检查曲面能否出模，是否有倒扣现象（即拔模角为负角），如发现倒扣现象，应对曲面的控制线进行修改，重构曲面。这一点往往被忽略，但却是非常重要的。

1-6-5 曲面光滑评估

在构造曲面时，要随时检查所建曲面的状况，注意检查曲面是否光滑、是否扭曲、曲率变化情况等，以便及时修改。检查曲面光滑的方法可对构成的曲面进行渲染处理，即通过透视、透明度和多重光源等处理手段产生高清晰度的逼真性和观察性良好的彩色图像，再根据处理后的图像光亮度的分布规律来判断出曲面的光滑度。图像明暗度变化比较均匀，则曲面光滑性好，如果图像在某区域的明暗度与其他区域相比变化较大，则曲面光滑性差。另外，可显示表面上的等高斯曲率线，进而显示高斯曲率的彩色光栅图像，从等高斯曲率线的形状与分布、彩色光栅图像的明暗区域及变化，直观地了解曲面的光滑性情况。

1-7 NURBS 曲面的特性及曲面连续性定义

1-7-1 NURBS 曲面的特性

前面曾经介绍了 NURBS 曲面的原理和数学表达式。在这里将介绍一下它的特性：NURBS 非均匀 B 样条曲线 (Non-Uniform Rational B-Splines)，它是用数学方式来描述形体，采用解析几何图形，曲线或曲面上任何一点都有其对应的坐标 (x, y, z) ，所以具有高度的精确性。NURBS 曲面可以由任何曲线生成。

对于 NURBS 曲面而言，剪切是不会对曲面的 uv 方向产生影响的，也就是说不会对网格产生影响，如图 1-12a、b 所示，剪切前后网格 (uv 方向) 并不会发生实质的改变。这也是通过剪切四边面来构成三边面和五边面等多边面的理论基础。

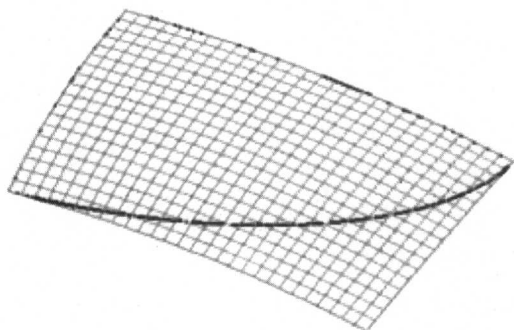


图 1-12 a (剪切前的曲面)

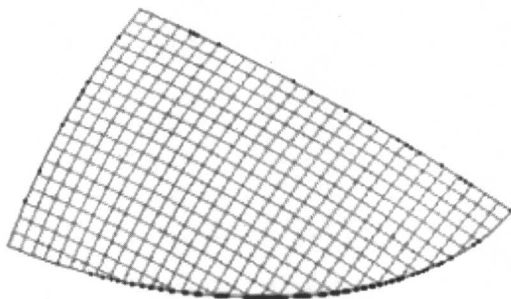


图 1-12 b (剪切后的曲面)

1-7-2 曲面 G1 与 G2 连续性定义

G_n 表示两个几何对象间的实际连续程度。例如：

- G_0 意味着两个对象相连或两个对象的位置是连续的。
- G_1 意味着两个对象光滑连接，一阶微分连续，或者是相切连续的。
- G_2 意味着两个对象光滑连接，二阶微分连续，或者两个对象的曲率是连续的。
- G_3 意味着两个对象光滑连接，三阶微分连续。 G_n 的连续性是独立于表示（参数化）的。

