



## 1.1 曲面设计的发展概述

随着时代的进步，人们的生活水平和质量都在不断提高，人们在要求产品功能日益完备的同时，也越来越追求外形的美观，因此产品设计人员很多时候需要用复杂的曲面来表现产品外观。

曲面造型是随着计算机技术和数学方法的不断发展而逐步产生和完善起来的。它是计算机辅助几何设计和计算机图形学的一项重要内容，主要研究在计算机图像系统的环境下对曲面的表达、创建、显示及分析等。

早在 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向量函数方法，并且引入了参数三次曲线，从此曲线曲面的参数化形式成为形状描述的标准形式。到了 1971 年，法国雷诺汽车公司的贝塞尔（Bezier）又提出了一种控制多边形设计曲线的新方法，这种方法可以很好地解决整体形状控制的问题，从而将曲线曲面的设计向前推进了一大步，然而贝塞尔方法仍然存在曲面连接问题和局部修改的问题。直到 1975 年，美国 Syracuse 大学的 Versprille 首次提出具有划时代意义的有理 B 样条方法（NURBS），NURBS 方法可以精确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，这一方法的提出终于使非均匀有理 B 样条方案成为现代曲面造型中最为流行的曲面造型技术。

随着计算机图形技术及工业制造技术的不断发展，曲面造型技术在近几年得到了长足的发展与进步，这主要表现在以下几个方面。

（1）从研究领取看，曲面造型技术已经从传统的研究曲面表示、曲面求交和曲面拼接到曲面变形、曲面重建、曲面简化、曲面转换和曲面等距性等。

（2）从表示方法看，以网格细分为特征的离散造型方法得到了高度运用，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具有独特优势。

（3）从曲面造型方法看，出现了很多新的曲面造型方法，例如基于物理模型的曲面造型方法、基于偏微积分方程的曲面造型方法、流曲线曲面造型方法等。

当今在 CAD/CAM 系统的曲面造型领域,有一些功能强大的软件系统,例如法国达索公司的 CATIA、SOLIDWORKS,德国西门子公司的 UG、Solidedge,美国 PTC 公司的 Creo,美国 SDRC 公司的 I-DEAS 等,它们各具特色与优势,在曲面造型领域都发挥着举足轻重的作用。

如今,人们对产品的使用远远超过了只要求性能符合需求的底线,在此基础上人们更愿意接受能在视觉上带来冲击的产品。在较为生硬的三维建模中,曲面扮演的就是让模型更活泼,甚至更具有装饰性的角色。不仅如此,在普通产品的设计中也对曲面的连续性提出了更高的要求,由原来的点连续提高到了相切连续甚至更高。在生活中,人们随处可见的电子产品、儿童玩具及办公用品等产品的设计中都可以见证曲面设计的必要性及重要性。

## 1.2 曲面造型的基本数学概念

曲面造型技术随着数学相关研究领域的不断深入而得到长足的发展,多种曲线、曲面被广泛应用。在具体学习曲面前我们有必要简单了解曲线与曲面的基础理论与构造方法,从而在概念和原理上有一个大致的了解。

### 1. 贝塞尔曲线与曲面

贝塞尔曲线与曲面是法国雷诺公司的贝塞尔在 1962 年提出的一种构造曲线曲面的方法,是一种三次曲线的形成原理,此曲线由 4 个位置向量  $\mathbf{Q}_0$ 、 $\mathbf{Q}_1$ 、 $\mathbf{Q}_2$  与  $\mathbf{Q}_3$  定义的曲线,通常将  $\mathbf{Q}_0$ 、 $\mathbf{Q}_1$ 、 $\dots$ 、 $\mathbf{Q}_n$  组成的多边形折线称为贝塞尔控制多边形,多边形的第 1 条折线和最后一条折线代表曲线的起点和终点方向,其他曲线用于定义曲线的阶次与形状。

### 2. B 样条曲线与曲面

B 样条曲线继承了贝塞尔曲线的优点,仍然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,而是采用 B 样条基函数。B 样条曲线与特征多边形十分接近,同时便于进行局部修改,与贝塞尔曲面生成过程类似,由 B 样条曲线可以非常容易推广到 B 样条曲面。

### 3. 非均匀有理 B 样条曲线与曲面 (NURBS)

NURBS 是 Non-Uniform Rational B-Splines 的缩写,是非均匀有理 B 样条的意思。Non-Uniform 是指能够改变控制点的影响力范围。当创建一个不规则的曲面时,这一点非常重要,同样统一的曲线和曲面在透视投影下也不是无变化的,对于交互的三维模型来讲属于严重的缺陷。Rational 是指每个 NURBS 物体都可以用数学表达式来定义。B-Splines 是指用路径来构造一条曲线,在一个或更多的点之间以内差值替换。

NURBS 技术提供了对标准解析结合和自由曲线、曲面的统一数学描述方法,它可以通过调整控制顶点和因子方便地改变曲面的形状,同时也可以方便地转换对应的贝塞尔曲面,因此 NURBS 方法已经成为曲线、曲面建模中最为流行的技术。

#### 4. NURBS 曲面的特性

NURBS 是用数学方式来描述形体，采用解析几何图形、曲线或曲面上任意一点都有其对应的坐标  $(x,y,z)$ ，所以具有高度的精密性，NURBS 曲面可以由任意曲线生成。

对于 NURBS 曲面来讲，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 1.1 所示。剪切前后网格不会发生实际上的改变，这也是通过剪切四边面来构造三边面或者五边面等多边面的基础理论原理。

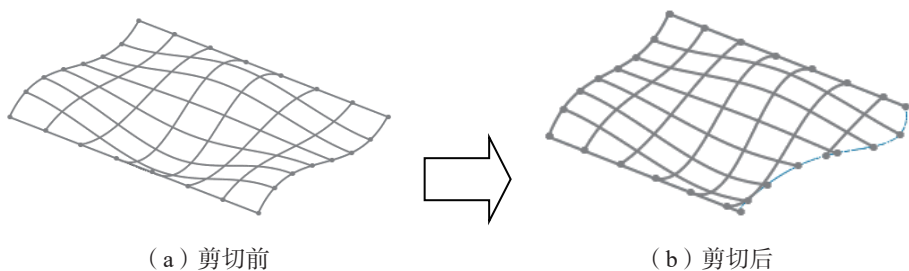


图 1.1 剪切曲面

#### 5. 曲面连续性

$G_n$  用于表示两个几何对象间的实际连续程度，包括  $G_0$ 、 $G_1$ 、 $G_2$  与  $G_3$ ， $G_0$  表示两个几何对象的位置是连续的，如图 1.2 所示。

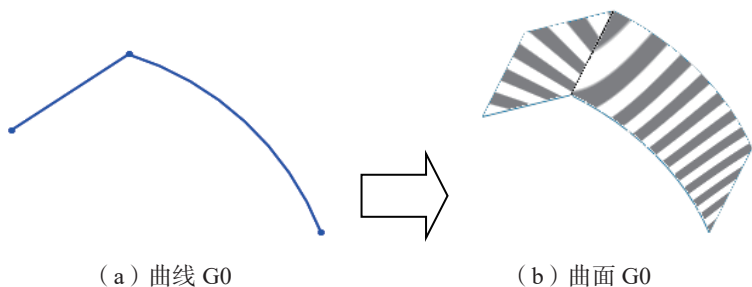


图 1.2  $G_0$  连续

$G_1$  表示两个几何对象光滑连接，一阶微分连续，或者相切连续，如图 1.3 所示。

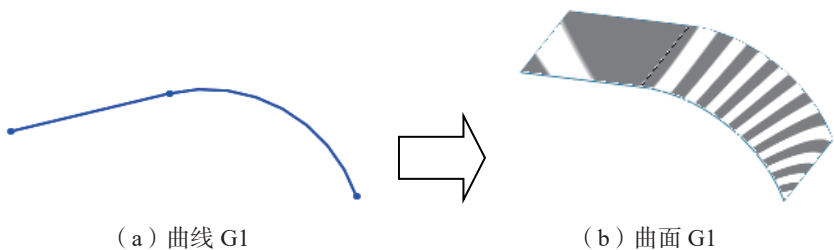


图 1.3  $G_1$  连续

G2 表示两个几何对象光滑连接，二阶微分连续，或者两个对象的曲率是连续的，如图 1.4 所示。

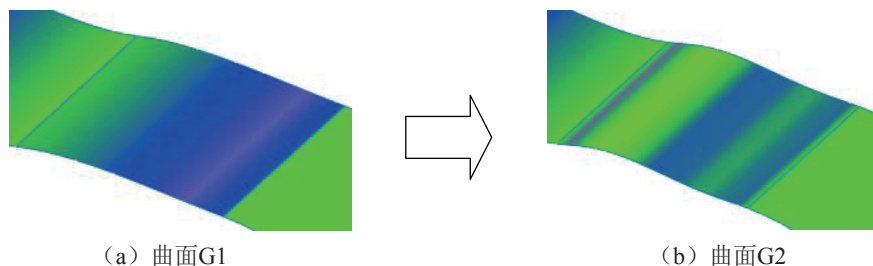


图 1.4 G2 连续

G3 表示两个几何对象光滑连接，三阶微分连续。

### 1.3 曲面光顺的控制技巧

一个美观的产品外形往往是光滑并且圆顺的。光滑的曲面从外表看流线顺畅，不会引起视觉上的凹凸感，从理论上是指具有微分连续、不存在奇点与多余拐点、曲率变化较小及应变较小等特点的曲面。要保证构造的曲面既光滑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，下面我们就对常用的曲面造型技巧进行介绍。

#### 1. 区域划分，先局部再整体

对于一个产品的外形，用一个曲面去描述往往是不切实际和不可行的，这时就需要根据应用软件曲面造型方法，结合产品的外形特点，将其划分为多个区域来构造多个曲面，然后将它们缝合在一起，或者用过度面将其连接。如今三维 CAD 系统中的曲面几乎是定义在四边形区域上，也就是四边面居多，因此在划分区域时，应尽量将各个区域定义在四边区域内，即每个子面都有四条边。

#### 2. 创建光滑曲面和光滑控制曲线是关键

控制曲线的光滑程度往往直接决定了曲面的品质。要想创建一条高质量的曲线可以从以下几方面控制：①曲率主方向尽可能一致；②曲线曲率需要大于圆角过度的半径值；③达到基本的精度要求。

在创建步骤上，首先利用投影、光顺等手段创建样条曲线，然后后期根据曲率图的显示来调整曲率变化明显的曲线段，从而达到光顺效果。也可以通过调整空间曲线的参数一致性或者生成足够多的曲线上的点，再通过这些点重新拟合曲线达到光顺的目的。

#### 3. 光滑连接曲面片

曲面片的光滑连接应具备以下两个条件：①保证各连接面片具有公共边；②保证各曲面片的控制线连接光滑。第 2 条是保证曲面片连接光滑的必要条件，用户可以通过调整控制线的起点和终点约束条件，使其曲率或切线的接点处保证一致。

#### 4. 还原曲面，再塑轮廓

一个曲面的曲面轮廓往往是已经被修剪过的，如果我们直接利用这些轮廓来构造曲面，则一般很难保证曲面的光滑性，所以具体造型时需要充分考虑零件的几何特点，利用延伸、投影等方法将三维空间轮廓线还原为二维轮廓线，并去除细节部分，然后还原出原始曲面，最后利用曲面的修剪工具获得理想的曲面外轮廓。

#### 5. 注重实际，从模具角度考虑曲面质量

再漂亮的曲面造型，如果不注重实际的生产制造，则毫无用处。产品三维造型的最终目的是制造模具，产品零件大部分需要通过模具生产出来，因此在进行三维造型时，要从模具的角度考虑，在确定产品的出模方向后，应及时检查能否顺利出模，是否会出现倒扣现象（拔模角为负值），如果发现问题，则应对曲面进行修改或者重新构造曲面。

#### 6. 随时检查，以及时修改

在进行曲面造型时，要随时检查所建曲面的状况，注意检查曲面是否光滑，以及有无扭曲、曲率变化等情况，以便及时修改。

检查曲面光滑程度的方法主要有以下两种：①对曲面进行高斯曲率分析，进而显示高斯曲率的彩色光栅图像，这样可以直观地了解曲面的光滑性情况；②对构造曲面进行渲染处理，可以通过透视、透明度和多重光源等处理手段产生高清晰的逼真彩色图像，再根据处理后图像的光亮度的分布规律来判断曲面的光滑度，如果图像明暗变化比较均匀，则曲面光滑性好。

## 1.4 SOLIDWORKS 常用曲面建模方法

在 SOLIDWORKS 中软件向用户提供了很多曲面建模的方法，下面介绍几种比较常见的曲面设计方法。

### 1. 拉伸曲面

将截面轮廓沿着给定的线性方向伸展所得到的曲面称为拉伸曲面，如图 1.5 所示。

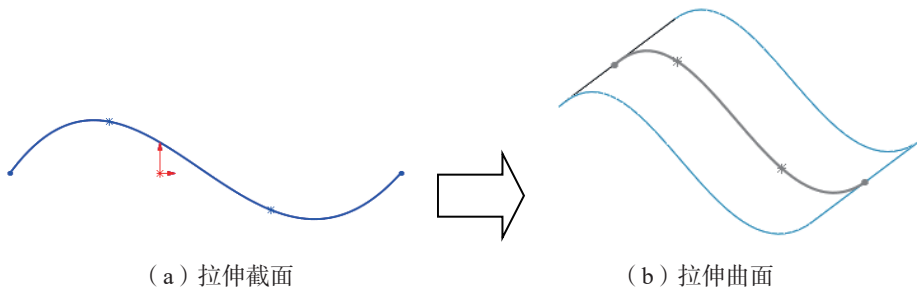


图 1.5 拉伸曲面

### 2. 旋转曲面

将截面轮廓绕着给定的中心轴旋转一定的角度所得到的曲面称为旋转曲面，如图 1.6 所示。

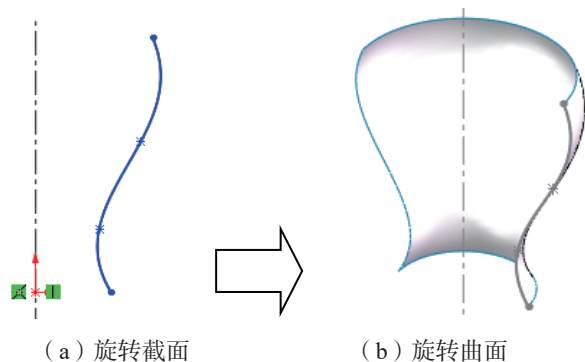


图 1.6 旋转曲面

### 3. 扫描曲面

将截面轮廓沿着给定的曲线路径掠过所得到的曲面称为扫描曲面，如图 1.7 所示。

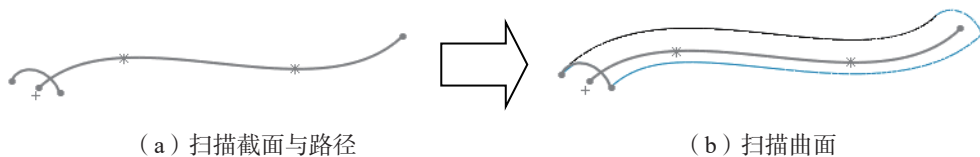


图 1.7 扫描曲面

### 4. 放样曲面

将一组不同的截面沿其边线用过渡曲面连接形成一个连续的曲面，这就是放样曲面，如图 1.8 所示。

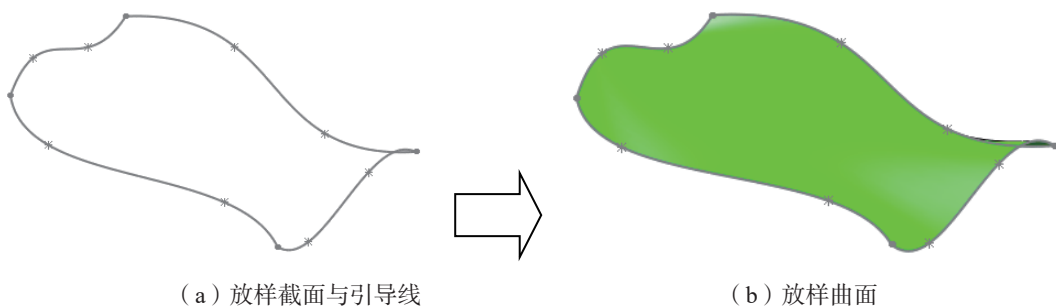


图 1.8 放样曲面

### 5. 平面区域

使用非相交草图、一组闭合曲线或者多条共有平面分型线来创建平面曲面，如图 1.9 所示。

### 6. 填充曲面

在由边线、草图或者曲线所定义的边界内修补创建的曲面称为填充曲面，如图 1.10 所示。

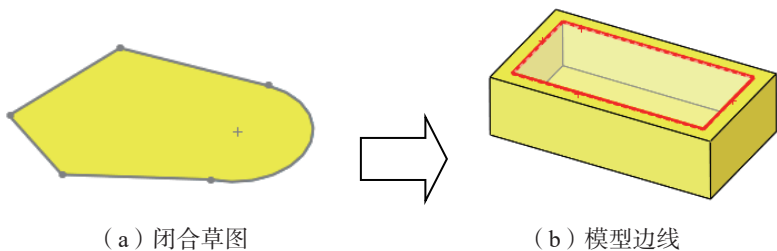


图 1.9 平面区域

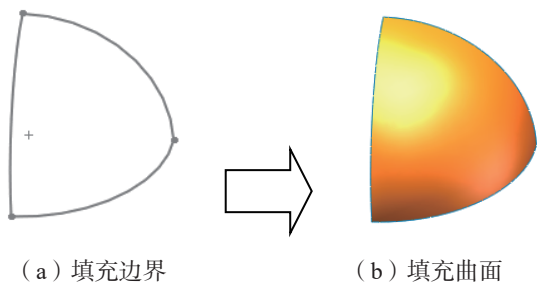


图 1.10 填充曲面

## 7. 等距曲面

等距曲面就是将现有的面沿着某一方向移动一定的距离来创建新的曲面，如图 1.11 所示。

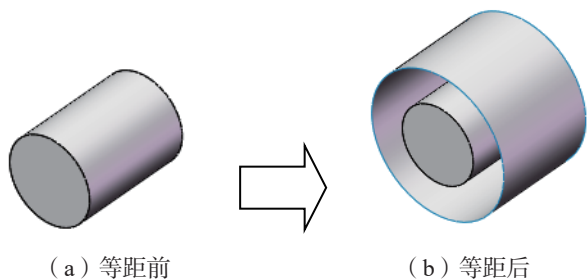


图 1.11 等距曲面

## 1.5 SOLIDWORKS 曲面设计的一般过程



使用 SOLIDWORKS 创建曲面模型一般会经历以下几个步骤。


- (1) 新建模型文件。
- (2) 搭建曲面线框。
- (3) 创建曲面。



- (4) 编辑曲面。
- (5) 曲面实体化。

接下来就以绘制如图 1.12 所示的吹风机外壳模型为例，向大家具体介绍。

步骤 1: 新建一个零件三维模型文件。选择快速访问工具栏中的  命令，在系统弹出的“新建 SOLIDWORKS 文件”对话框中选择  (零件)，然后单击“确定”按钮进入零件设计环境。

步骤 2: 绘制草图 1。单击 **草图** 功能选项卡中的  按钮，在系统的提示下，选取“上视基准面”作为草图平面，绘制如图 1.13 所示的草图。

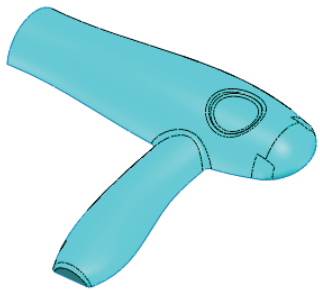


图 1.12 吹风机外壳

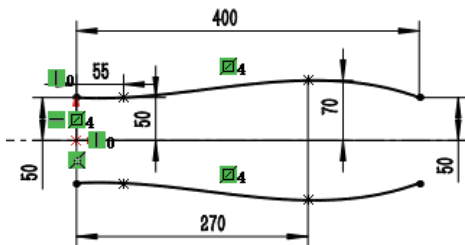



图 1.13 草图 1

步骤 3: 绘制草图 2。单击 **草图** 功能选项卡中的  按钮，在系统的提示下，选取“右视基准面”作为草图平面，绘制如图 1.14 所示的草图。

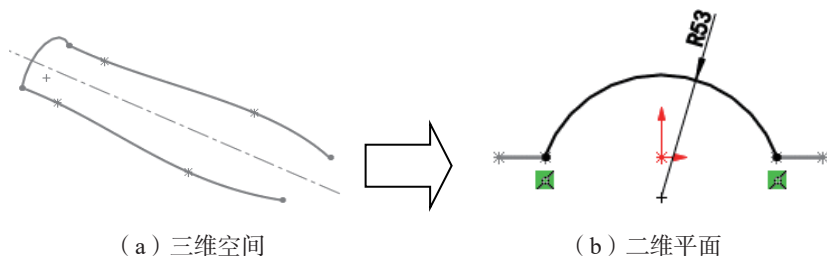








图 1.14 草图 2

步骤 4: 创建基准面 1。单击 **特征** 功能选项卡  下的  按钮，选择  命令，选取右视基准面作为参考平面，在“基准面”对话框  文本框中输入间距值 90。单击  按钮，完成基准面的定义，如图 1.15 所示。

步骤 5: 绘制草图 3。单击 **草图** 功能选项卡中的  按钮，在系统的提示下，选取“基准面 1”作为草图平面，绘制如图 1.16 所示的草图。

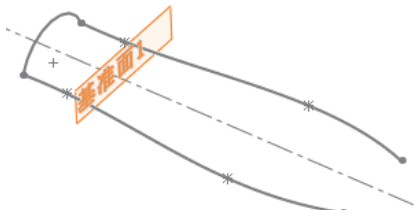


图 1.15 基准面 1

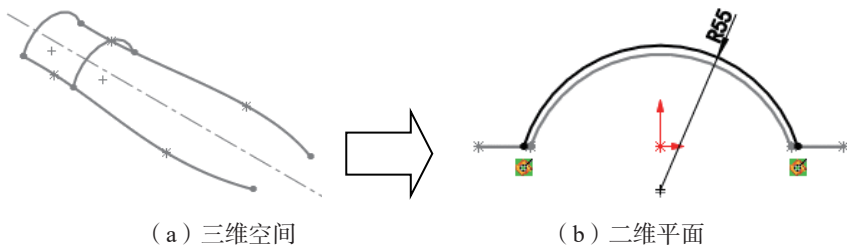


图 1.16 草图 3

注意：草图 3 的两端与步骤 2 创建的草图 1 穿透重合。

步骤 6：创建基准面 2。单击 **特征** 功能选项卡下的 按钮，选择 **基准面** 命令，选取右视基准面作为参考平面，在“基准面”对话框 文本框中输入间距值 270。单击 按钮，完成基准面的定义，如图 1.17 所示。

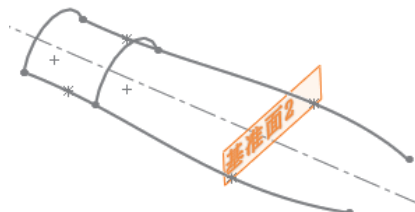


图 1.17 基准面 2

步骤 7：绘制草图 4。单击 **草图** 功能选项卡中的 按钮，在系统的提示下，选取“基准面 2”作为草图平面，绘制如图 1.18 所示的草图。

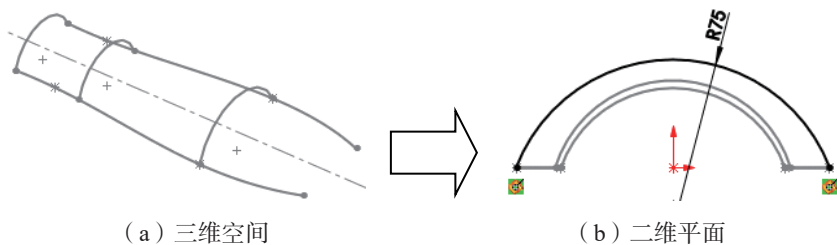


图 1.18 草图 4

注意：草图 4 的两端与步骤 2 创建的草图 1 穿透重合。

步骤 8：创建基准面 3。单击 **特征** 功能选项卡下的 按钮，选择 **基准面** 命令，选取基准面 2 作为第一参考，选取如图 1.19 所示的端点作为第二参考。单击 按钮，完成基准面的定义，如图 1.20 所示。

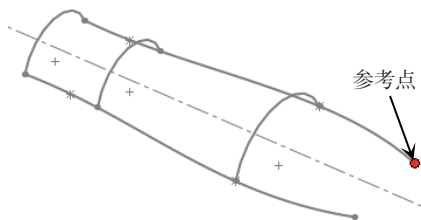


图 1.19 基准参考

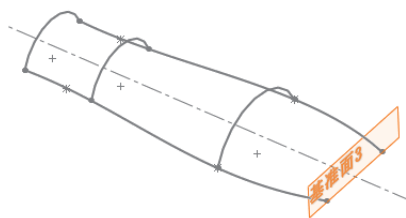


图 1.20 基准面 3

步骤 9: 绘制草图 5。单击 **草图** 功能选项卡中的 **草图绘制** 按钮, 在系统的提示下, 选取“基准面 3”作为草图平面, 绘制如图 1.21 所示的草图。

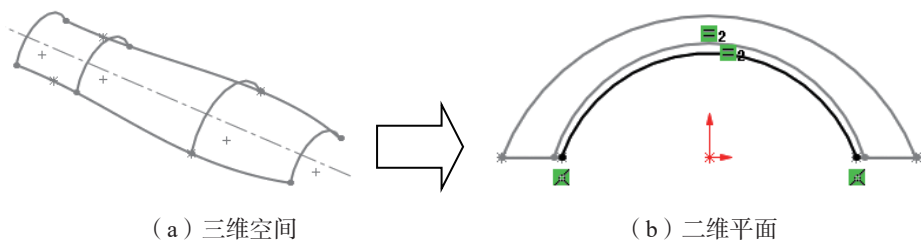


图 1.21 草图 5

步骤 10: 绘制草图 6。单击 **草图** 功能选项卡中的 **草图绘制** 按钮, 在系统的提示下, 选取“上视基准面”作为草图平面, 绘制如图 1.22 所示的草图。

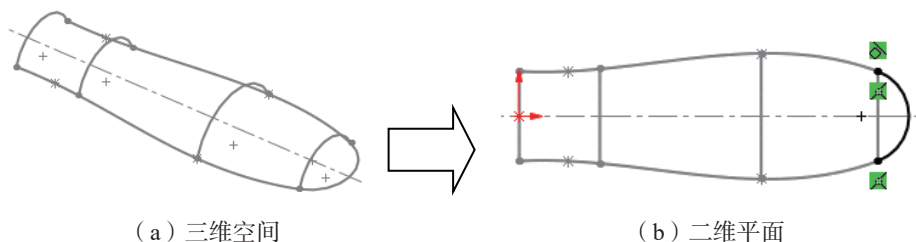


图 1.22 草图 6

步骤 11: 绘制草图 7。单击 **草图** 功能选项卡中的 **草图绘制** 按钮, 在系统的提示下, 选取“上视基准面”作为草图平面, 绘制如图 1.23 所示的草图。

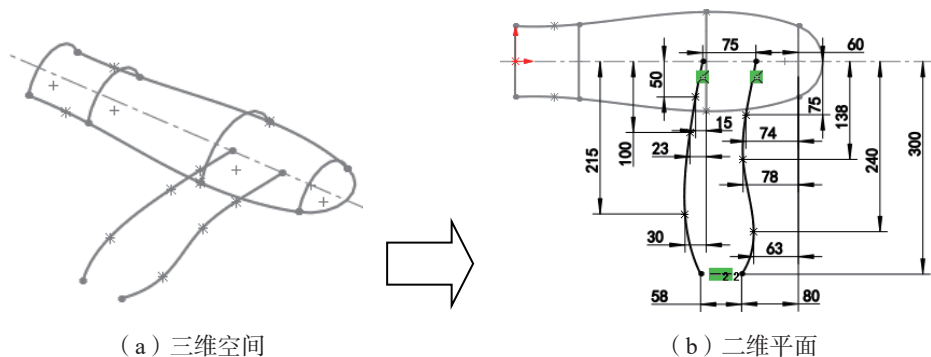


图 1.23 草图 7

步骤 12: 创建基准面 4。单击 **特征** 功能选项卡下的 **基准面** 按钮, 选择 **基准面** 命令, 选取前视基准面作为第一参考, 选取如图 1.24 所示的端点作为第二参考。单击 **✓** 按钮, 完成基准面的定义, 如图 1.25 所示。

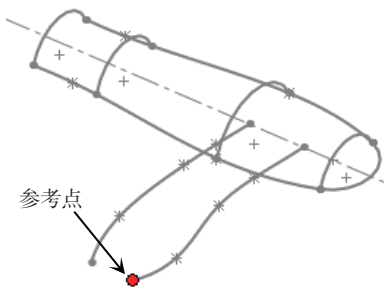


图 1.24 基准参考

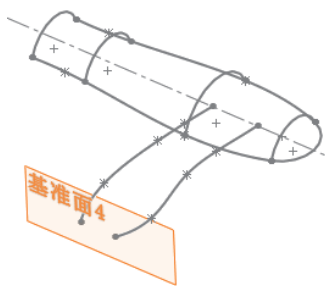


图 1.25 基准面 4

步骤 13: 绘制草图 8。单击 **草图** 功能选项卡中的 **草图绘制** 按钮，在系统的提示下，选取“前视基准面”作为草图平面，绘制如图 1.26 所示的草图。

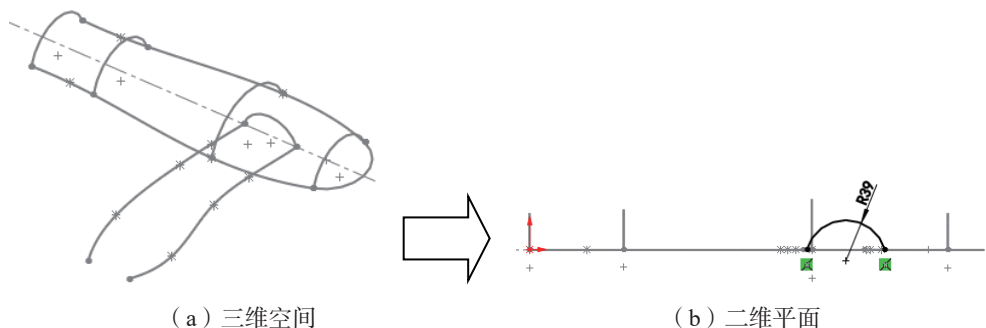


图 1.26 草图 8

注意：草图 8 的两端与步骤 11 创建的草图 7 穿透重合。

步骤 14: 绘制草图 9。单击 **草图** 功能选项卡中的 **草图绘制** 按钮，在系统的提示下，选取“基准面 4”作为草图平面，绘制如图 1.27 所示的草图。

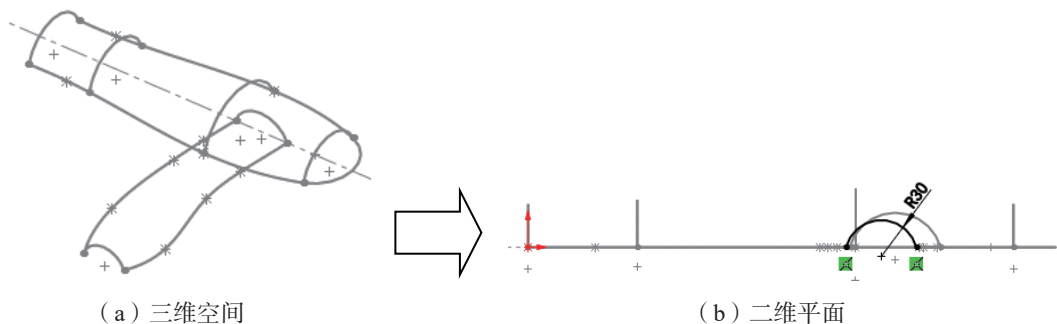




图 1.27 草图 9

注意：草图 9 的两端与步骤 11 创建的草图 7 穿透重合。

步骤 15: 绘制如图 1.28 所示的放样曲面 1。单击 **曲面** 功能选项卡中的  (放样曲面) 按钮, 在绘图区域依次选取草图 2、草图 3、草图 4 与草图 5 作为放样截面 (注意起始位置的控制); 在“曲面放样”对话框中激活 **引导线(G)** 区域的文本框, 然后在绘图区域中依次选取如图 1.29 所示的引导线 1 与引导线 2; 单击“曲面放样”对话框中的  按钮, 完成放样曲面的创建。

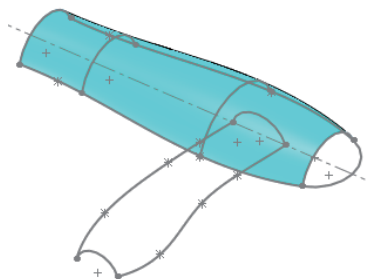


图 1.28 放样曲面 1

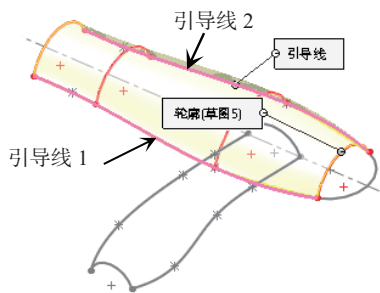




图 1.29 放样引导线

步骤 16: 绘制如图 1.30 所示的放样曲面 2。单击 **曲面** 功能选项卡中的  (放样曲面) 按钮, 在绘图区域依次选取如图 1.31 所示的曲面边线与草图 6 作为放样截面 (注意起始位置的控制); 在“曲面放样”对话框中 **开始/结束约束(C)** 区域的 **开始约束(S)** 下拉列表中选择“与面相切”类型, 在 **结束约束(E)** 下拉列表中选择“垂直于轮廓”类型; 单击“曲面放样”对话框中的  按钮, 完成放样曲面的创建。

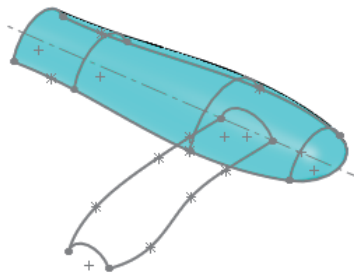


图 1.30 放样曲面 2

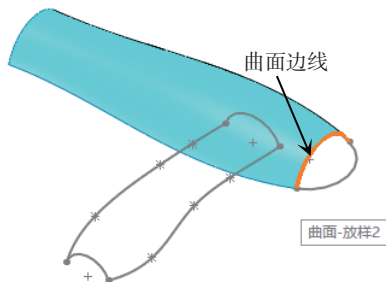







图 1.31 放样截面

步骤 17: 绘制如图 1.32 所示的放样曲面 3。单击 **曲面** 功能选项卡中的  (放样曲面) 按钮, 在绘图区域依次选取草图 8 与草图 9 作为放样截面 (注意起始位置的控制); 在“曲面放样”对话框中激活 **引导线(G)** 区域的文本框, 然后在绘图区域中依次选取如图 1.33 所示的引导线 1 与引导线 2; 单击“曲面放样”对话框中的  按钮, 完成放样曲面的创建。

步骤 18: 绘制草图 10。单击 **草图** 功能选项卡中的  按钮, 在系统的提示下, 选取“基准面 4”作为草图平面, 绘制如图 1.34 所示的草图。

步骤 19: 绘制如图 1.35 所示的平面区域。单击 **曲面** 功能选项卡中的  按钮, 在系统的提示下选取步骤 18 创建的草图 10 作为参考; 单击“曲面基准面”对话框中的  按钮, 完成平面区域的创建。

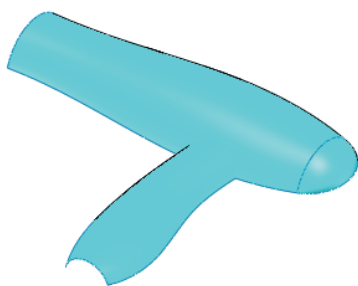


图 1.32 放样曲面 3

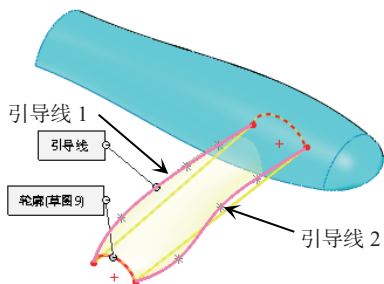
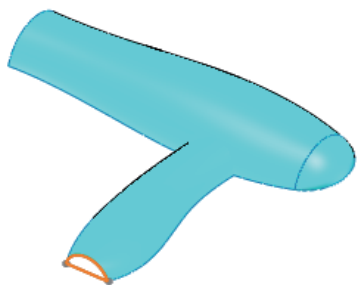


图 1.33 放样引导线





(a) 三维空间



(b) 二维平面

图 1.34 草图 10

步骤 20: 绘制如图 1.36 所示的剪裁曲面 1。

单击 **曲面** 功能选项卡中的  **剪裁曲面** 按钮，在 **剪裁类型(T)** 区域选中  **相互(M)** 类型，选取放样曲面 1 与放样曲面 3 作为剪裁参考，选中  **保留选择(K)** 单选项，选取如图 1.37 所示的面作为要保留的面，单击“剪裁曲面”对话框中的  按钮，完成剪裁曲面的创建。

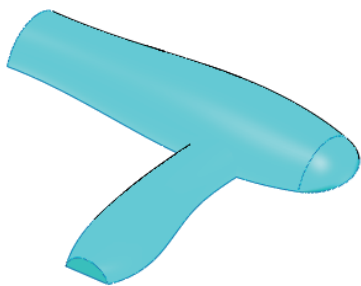



图 1.35 平面区域

步骤 21: 绘制草图 11。单击 **草图** 功能选项卡中的  **草图绘制** 按钮，在系统的提示下，选取“上视基准面”作为草图平面，绘制如图 1.38 所示的草图。

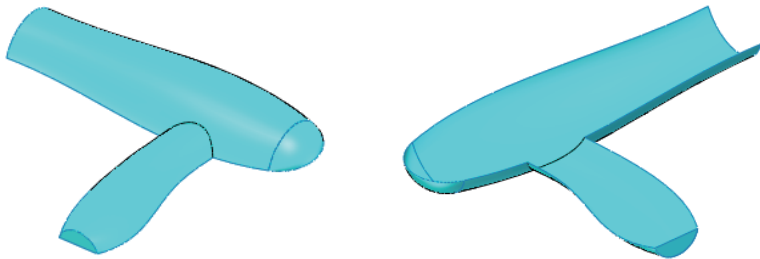


图 1.36 剪裁曲面 1

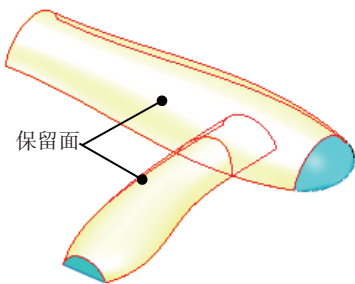


图 1.37 保留区域

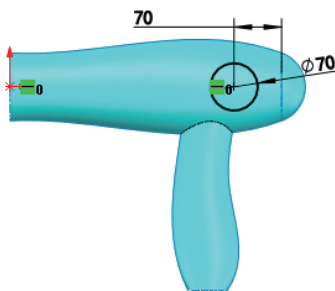


图 1.38 草图 11

步骤 22: 绘制如图 1.39 所示的分割线。单击 **特征** 功能选项卡 下的 按钮, 选择 命令, 系统会弹出“分割线”对话框, 在 **分割类型** 区域中选中  **投影** 单选项, 在系统 **更改类型或选择要投影的草图、方向和分割的面。** 的提示下, 选取步骤 21 创建的圆作为投影对象, 选取放样曲面 1 作为要分割的面, 单击 按钮, 完成分割线的创建。

步骤 23: 绘制如图 1.40 所示的等距曲面。单击 **曲面** 功能选项卡中的 等距曲面 按钮, 在系统的提示下选取如图 1.41 所示的面作为等距参考, 在“距离”文本框中输入 5 (方向向内), 单击“等距曲面”对话框中的 按钮, 完成等距曲面的创建。

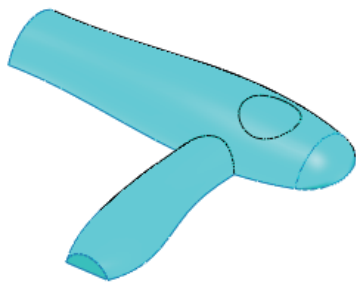


图 1.39 分割线

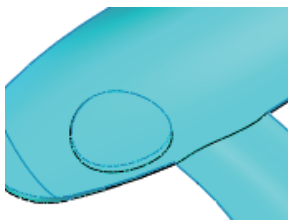


图 1.40 等距曲面

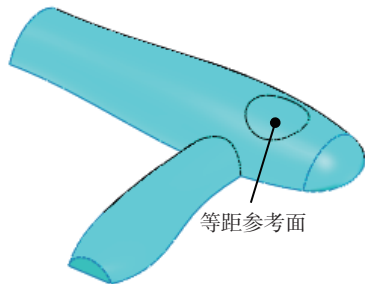


图 1.41 等距参考


步骤 24: 绘制如图 1.42 所示的删除面。单击 **曲面** 功能选项卡中的 删除面 按钮, 在系统的提示下选取如图 1.41 所示的面作为参考, 选中“选项”区域中的  **删除** 单选项, 单击“删除面”对话框中的 按钮, 完成删除面的操作。

步骤 25: 绘制草图 12。单击 **草图** 功能选项卡中的 草图控制 按钮, 在系统的提示下, 选取“上视基准面”作为草图平面, 绘制如图 1.43 所示的草图。

步骤 26: 绘制如图 1.44 所示的分割线。单击 **特征** 功能选项卡 下的 按钮, 选择 命令, 系统会弹出“分割线”对话框, 在 **分割类型** 区域中选中  **投影** 单选项, 在系统 **更改类型或选择要投影的草图、方向和分割的面。** 的提示下, 选取步骤 25 创建的圆作为投影对象, 选取曲面等距 1 作为要分割的面, 单击 按钮, 完成分割线的创建。

步骤 27: 绘制如图 1.45 所示的删除面。单击 **曲面** 功能选项卡中的 删除面 按钮, 在系统的提示下选取如图 1.44 所示的面作为参考, 选中“选项”区域中的  **删除** 单选项, 单击

“删除面”对话框中的✔按钮，完成删除面的操作。

步骤 28：绘制如图 1.46 所示的放样曲面 4。单击 **曲面** 功能选项卡中的  按钮，在绘图区域依次选取如图 1.47 所示的曲面边线 1 与曲面边线 2 作为放样截面；在“曲面放样”对话框中 **开始/结束约束(C)** 区域的 **开始约束(S)** 与 **结束约束(E)** 下拉列表中均选择“无”类型；单击“放样曲面”对话框中的✔按钮，完成放样曲面的创建。

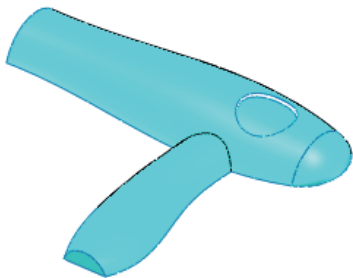


图 1.42 删除面

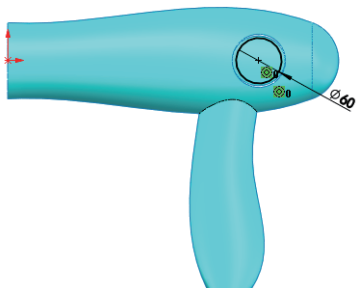


图 1.43 草图 12

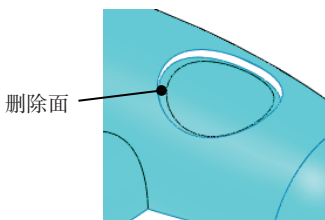


图 1.44 分割线

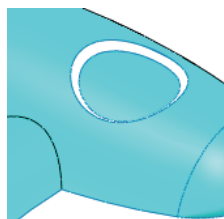


图 1.45 删除面

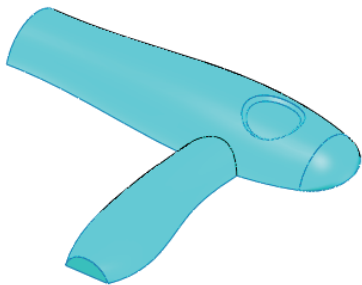


图 1.46 放样曲面 4

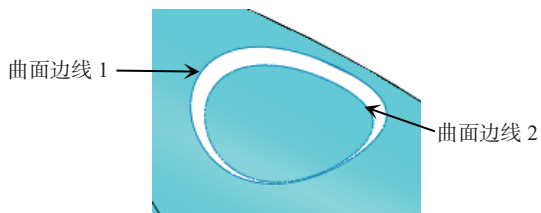








图 1.47 放样截面

步骤 29：创建缝合曲面 1。单击 **曲面** 功能选项卡中的  (缝合曲面) 按钮，选取所有曲面作为要缝合的对象；单击“缝合曲面”对话框中的✔按钮，完成缝合曲面的创建。

步骤 30：创建如图 1.48 所示的倒圆角 1。单击 **特征** 功能选项卡  下的  按钮，选择  命令，在“圆角”对话框中选择“固定大小圆角”  类型，在系统的提示下选取如图 1.49 所示的边线作为圆角对象，在“圆角”对话框的 **圆角参数** 区域中的  文本框中输入圆角半径值 5，单击✔按钮，完成倒圆角的定义。