



扫码下载本章配套资源

第 1 章

SketchUp 曲面基础

作为本书的开头，本章的几节要对“曲面建模”课题展开后可能会遇到的问题（包括读者可能会感兴趣的话题）提前做一个综合性的介绍与铺垫。

本章有些内容看起来比较基础，对于自觉已经入门 SketchUp 的用户来说可能有点乏味，但是作者相信，其中一定有你原先不懂，甚至从来没有想过的问题。

本章中有一些涉及曲线与曲面理论方面的话题和本应用数学推导来详细叙述的例子，为了让大多数读者阅读起来更为流畅，采取直接给出结果的方式，以避免给读者造成阅读障碍，但同时也会给出想要深入研究时获取相关文献的线索。



1.1 曲面建模概述

从本节开始和后面的几节要对本书“曲面建模”话题展开后可能会遇到的问题提前做一个综合性的铺垫，即使是已经入门的 SketchUp 用户，建议你也快速浏览一遍。

1. 计算机图形的分类

“计算机图形”是指用计算机生成或表现的图形。从处理技术上来看，计算机图形大概可分为以下 5 类。

(1) 以像素为基础形成的图像，如漫画、照片，也可能是以色彩渐变或渲染来模拟 3D（三维）的效果，特征是 2D（二维），通常称之为“图像”或“位图”。

(2) 由点和线等几何元素按一定的数学公式与算法组成的图形，如施工图、等高线图等，特征也是 2D，通常称之为“图形”或“矢量图形”。

(3) 以点与线为基础生成的“3D 线框模型”，主要用于教学领域或者需要来说明或表达某种形体的全面概况。“线框模型”在 SketchUp 里常用来生成“框架”类的结构。

(4) 以点与线为基础生成面，再由若干面组成“体”，然后把若干“体”集成“3D 模型”相对于上述“线框模型”，“3D 模型”又引入了“面”的概念（即“表面模型”）。很多 3D 模型的用途仅限于“看”的层面，如 3D 动画、3D 游戏等都以尽可能好地表现物体外观，获得良好视觉效果为目标。很多软件工具在这方面都有优秀的表现。

用来“看”，也是 SketchUp 的应用领域之一；但 SketchUp 创建的模型，除了上述“被看”的低层面应用外，还有更多、更重要的功能、内涵与用途。

(5) 还有一种实体模型，相对于上述的“表面模型”来说，又引入了“实心”的概念，在构建物体表面的同时，还深入到物体内部，形成物体的“体模型”，这种建模方法常被应用于医学影像（如 B 超、CT 检查、同位素扫描等）、科学数据可视化等专业应用中。

本书要讨论的主题集中于上述的第（4）类，也有少许内容涉及第（2）和第（3）类；第 19 章关于曲面贴图的内容会涉及第（1）类。

对第（1）类与第（2）类的创作与操作，可统称为“画图”；而对第（3）～（5）类的创作与操作，称为“建模”；所以不会说“画一个模型”，而会说“建一个模型”。

2. 基本几何体与其分类

在 SketchUp 里“建模”，无论是简单还是复杂的模型，总是由各种各样的“几何体”组成的。在几何学中对“几何体”有以下定义。

- ① 若干几何面（平面或曲面）所围成的有限形体称为几何体。
- ② 围成几何体的面称为几何体的界面或表面。SketchUp 中称为“Face”（面）。
- ③ 不同界面的交线称为几何体的棱线。SketchUp 中称为“Edge”（边线）。

④ 不同棱线的交点称为几何体的顶点。SketchUp 中称为“Vertex”(顶点)。

⑤ 几何体也可看成空间中若干几何面分割出来的有限空间区域。

用 SketchUp 创建 3D 模型将涉及平面几何、立体几何、解析几何及微积分方程等专业知识,即使不是以深入研究为目标的初级实际应用,如对各种常见的多面体、旋转体及其组合体等的创建与编辑,也需要掌握并熟练运用一些较简单的几何学知识。

关于几何体的分类,有的文献中分为两类,举例如下。

① 第一类泛指有曲面参与其中的曲面几何体,如曲面、圆柱体、圆锥体、球体等。

② 第二类泛指仅由平面组成的几何体,如立方体、多面体、长方体、棱柱体、锥体等。

③ 也有部分文献把“球体”单独列为一类,这样就有了 3 类几何体。

3. 各种建模方法的优缺点与适用领域

3D 建模的方法有很多种,如多边形建模(Polygon Modeling)、曲面建模(NURBS Modeling)、参数化建模(Parametric Modeling)、逆向建模(Reverse Modeling)等。对应的软件有数十种。但是主流的建模方式大概只有上述 4 种。不同的建模方式有不同的专长与特点,因此有不同的应用领域。例如,工业类(包括建筑)建模要求有精确的尺寸,参数化建模就显得非常有优势。又如,动画或 3D 游戏只要求好看,多边形建模就行。下面简单介绍各种建模方式的优缺点与适用范围。

1) NURBS(曲面建模)

NURBS(Non-Uniform Rational B-Splines)是“非均匀有理 B 样条曲线”的意思。NURBS 曲线和 NURBS 曲面在传统的制图领域是不存在的,它是专门为使用计算机进行 3D 建模而建立的体系,用于在 3D 建模的内部空间里用曲线和曲面来表现轮廓和外形。

NURBS 的造型特点总是由曲线和曲面来定义:图 1.1.1 中①所示是用某 NURBS 软件建立的球体,是一个光滑没有瑕疵的球体,若打开它的控制线,如图 1.1.1 中②所示,居然只有 3 个圆圈。所以,想要在 NURBS 表面生成一条有棱角的边是很困难的。可以用它做出各种复杂的曲面造型和表现特殊的效果,如人的皮肤、面貌或流线型跑车等。在高级 3D 软件中都支持这种建模方式。NURBS 能够比传统的网格建模方式更好地控制物体表面的曲线光滑程度,从而能够创建出更逼真、生动的模型。

综上所述,“NURBS”是基于数学算法的一种曲面,是真实的曲面,有尺寸和形状精准的优点,多用于要求较高的机械、模具、钣金等设计领域等,“NURBS 曲面建模”对应的软件有 UG、Catia、Creo、SolidWorks、AutoCAD 等。

NURBS 曲面建模的缺点也很明显:它仅适合创建光滑的物体,并且因为 NURBS 曲面建模的内置要求很多,用起来比较麻烦而且也很难参数化,所以,目前 NURBS 除了工业生产外,更多还是作为视觉表现使用,最终以产生效果图或视频表现为主。

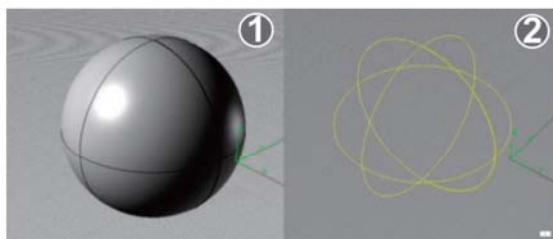


图 1.1.1 NURBS (曲面建模) 示例

2) Polygon (Poly) 多边形网格建模

Polygon 多边形网格建模简称“Poly”“网格 (Mesh) 建模”或“多边形建模”，是目前 3D 软件中比较流行的建模方法。如图 1.1.2 所示，建模的对象由 Vertex (顶点)、Edge (边线)、Face (面)、Element (元素或体) 构成网格拼成的曲面。两点成边，三边成面，两个以上的三边面成一个多边形，若干个多边形构成一个 Entity (实体)。这就是多边形建模的基本原理(后面还要详细讨论)。

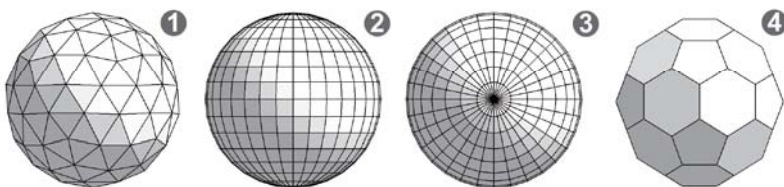


图 1.1.2 多边形建模示例

综上所述，用 Polygon 建模方式创建的模型，实际是由很多“折面”组成的，随着细分次数的增加，越来越趋近理想曲面，不过无论如何细分，它永远是折面。所以，称为“多边形建模”。这种建模方法有点像雕塑，建模过程就是以加线、减线（同时加減面）、移动、旋转、缩放、复制等使建模对象逐步逼近想要的形状。

这种建模方法的优点是方便、快捷，对美术与数学功底要求不是很高，容易上手，也方便修改。因此，这已经是主流的建模方法，在国内外拥有最多的使用者。该建模方法的缺点是很难获得高精度的曲面。

Polygon (多边形建模) 对应的软件有 3DCoat、ZBrush、Blender、3ds Max、C4D、Maya 等，也包括 SketchUp。

3) 参数化建模 (Parametric Modeling)

参数化建模是 20 世纪末逐渐占据主导地位的一种计算机辅助设计方法，是 BIM (建筑信息模型) 与参数化设计的重要手段。参数化建模主要应用于工业零部件、建筑模型 (含板式家具) 等需要以尺寸作为基础的模型设计。因为参数化建模由数据作为支撑，数据与数据之间存在相互关联，改变一个尺寸会对多个关联数据产生影响，所以参数化建模的最大优势在于可以通过对某个参数的改变实现对模型的整体修改，从而实现快捷设计与投产。这一点对于工业 (包括建筑业) 尤为重要。

UG、Pro/E (Creo)、SolidWorks 都是不错的参数化建模软件, SketchUp 也开始有参数化建模的插件, 如“Parametric Modeling”和“VIZ Pro”。

4) 逆向建模 (Reverse Modeling)

逆向建模也叫作“3D 逆向重建”, 这是一种基于现实物体, 包括地形、建筑、人物、物品等的测量数据进行逆向建模的一种方式。目前逆向建模的技术发展日新月异, 已逐渐成熟。逆向建模技术至少包括激光点云逆向建模、照片逆向建模、灰度图 (高度映像) 逆向建模及 3D 扫描逆向建模等先进技术。

逆向建模是一种完全不同的建模思路, 常用来获得传统方法无法创建的 3D 模型。无论采用上述哪一种逆向建模技术, 最终都将转化为多边形或者三角面的数字模型。生成的模型可用于各行业的数字可视化, 如文物与考古的数字化存档模型, 建筑、景观、规划设计用模型, 接近真实的地形模型及其他科研项目用的模型。

逆向建模通常用扫描方式获取建模数据, 包括激光点阵扫描、卫星多频谱扫描、无人机空拍、普通照片环拍等方式取得对象信息来生成模型, 目前技术还无法直接提供像上述参数化建模一样的精确尺寸模型 (地形模型已达到厘米级别), 但是可以借助实地测量的数据 (如激光全站仪), 结合对逆向建模的结果进行校正, 最后为参数化建模提供准确的模型。

逆向建模生成的模型通常线面数量较高, 但可在建模过程中设置调整, 或者后期再用多边形建模技术进行优化。从长远来看, 逆向建模的用途会越来越广, 非常值得所有 SketchUp 用户提前布局。本书将结合实例用第 17 章和第 18 章的大篇幅介绍与讨论逆向建模的课题; 在第 21 章也会重点提及。

1.2 SketchUp 几何概述

我国人教版七年级上册 (也就是初一第一学期) 的数学课本里就有“点、线、面、体”的内容。基本概念是: 点动成线, 线动成面, 面动成体。高一年级的数学课程里又有“点、线、面、体”, 名称一样, 内容深度却跟初中不一样。高中微积分初步和大学的微积分里都有对“点、线、面、体”的研究……点积分成线, 线积分成面, 面积分成体……大致如此。由此可见“点、线、面、体”概念的重要性。

人类生活在 3D 空间里 (严格地讲还有第四个维度, 即时间维度, 它代表着世间万事万物的千万种可能性, 因与本书的关系不大, 暂且放过不提), 因为是 3D 空间, 所以就有了 3 个互不干扰的方向 x 、 y 、 z , 可以用 (x, y, z) 一组 3 个数字来确定一个“点”在 3D 空间里的位置, 几何学中的“点”不占用空间, 只是个空间位置; 点作为最简单的图形概念, 通常是几何学、物理学、矢量图形和其他很多领域中最基本的组成部分。如果还有另外一组用 (x, y, z) 表征的点, 跟第一个点连起来就有了“线”; 3 组 (x, y, z) 代表的点就能够得到一个面, 这是众所周知的道理, 同样也是 SketchUp 与许多其他软件底层核心算法的基础。至于 SketchUp 用户, 对于“点、线、面、体”的认识与运用, 还有丰富得多的内容。



1. SketchUp 中的“点”（Point）与“顶点”（Vertex）

（1）首先，在 SketchUp 中的“点”，并不像数学里描述的那样，只是个“0 维”的空间概念。在 SketchUp 中，“点”不仅仅是个空间位置，它还有实实在在的可见性、可用性与不可或缺性。“点”可由 SketchUp 自动生成，也可以人为创建。譬如一条直线的两个“端点”和一个“中点”，两条直线相交后新产生的端点（顶点，Vertex）与中点；一条曲线上的很多端点与中点。也可以人为创建“构造点（辅助点）”。

（2）其次，可以用方括号“[x, y, z]”的形式输入“绝对坐标”；或者用尖括号“<x, y, z>”的形式输入“相对坐标”，它们都可以定义一个 3D 空间里的点；但很多 SketchUp 用户甚至都不知道还可以用这种办法输入坐标位置来建模，所以很多人从来就不用这种方法。

（3）在 SketchUp 中建模，当光标移动到某些特定的位置时，会有明确的提示——当前是端点，中点……在建模时，时常要利用甚至寻找这些点来作为新建几何体的起点或参照点。

（4）在 SketchUp 中，不同边线（Edge）的交点也可称为 Vertex（顶点），它在创建模型的过程中有着举足轻重的作用，尤其对于曲面的编辑不可或缺。

2. SketchUp 中的“线”“边线”（Edge）

在几何学中，线是点运动的轨迹，又是面的起点，几何学中的线只具有位置和长度；而 SketchUp 中的线（边线，Edge）非但可见，还有很多不同的定义、属性和用途。

（1）SketchUp 中的直线，垂线、斜线、折线等每个线段都有两个端点与一个中点。

（2）SketchUp 中还有另一种以虚线形式存在的直线，通常用来作参考线或辅助线。

（3）直接来源于 SketchUp 原生工具的曲线只有圆、弧线和手绘线。

（4）SketchUp 的手绘线工具可以绘制有实体属性与无实体属性（按 Shift 键）的曲线。

（5）SketchUp 可以用插件生成很多种普通与高阶的曲线，如仅 Bezier Spline（贝塞尔曲线）一个插件就可以用来绘制“多段线”“B 样条曲线”“F 样条曲线”“螺旋线”“经典与高阶的贝塞尔曲线”……抛物线、双曲线、椭圆、波浪线、蛇形线等都可以在 SketchUp 中实现。

（6）重要！SketchUp 中的所有曲线，无论看起来多么圆滑可爱无瑕，其实都是“折线”，也就是说，SketchUp 中的所有曲线都是以很多小线段“拟合”而成的。这是非常重要的概念。

（7）重要！SketchUp 中的所有曲线都可以用改变线段数量的办法调整其平滑度。确定足够又不多余的线段数量在建模过程中至关重要，甚至涉及能否顺利完成模型。

3. SketchUp 中的“面”（Face）

SketchUp 中的面（Face）大致可分成 3 类，即几何形、修整形与自然形。

（1）几何形（或规则形）：是可以数学方法描述与构成的类型，由直线或曲线或直曲线相结合形成的面，如正方形、长方形、三角形、梯形、菱形、圆形、半圆形、椭圆形、五角形等，

具有简洁明快的秩序感,被广泛运用在建筑、实用器物等造型设计中。

(2) 修整形(也称不规则形):是指人为创造、自由构成的,可随意地运用各种自由的、徒手的线条经过人为修整构成的面,具有人工造型特征和鲜明的个性。

(3) 自然形:是一种不可用数学方法描述与生成的自然形态,富有纯朴的视觉特征。例如,自然界的鹅卵石、树叶、瓜果外形以及人体外形等都是自然形,可以在 SketchUp 中用对照实物照片描绘轮廓的办法获取这类面。

(4) 重要概念! SketchUp 跟大多数“多边形” Polygon (Poly) 建模工具一样,都是以“三边面”为底层内核算法的 3D 建模工具(与其他软件的区别是人机界面的表现不同而已)。SketchUp 模型中只有少数是真正的四边面,大多数(人工修改后的)四边面是由两个三边面拼合后隐藏掉对角线的“折面”,这个问题在后面的章节中还会多次重复提出、讨论与研究。

4. SketchUp 中的曲面 (Camber)

根据不同的分类标准,曲面有许多不同的分类方法,在此一并列出供参考,下一节还要讨论。

(1) 根据母线运动方式分类。

① 回转面:由母线绕轴线旋转而形成的曲面。

② 非回转面:由母线根据其他约束条件运动而形成的曲面。

(2) 根据母线的形状分类。

① 直纹曲面:凡是可以由直母线运动而成的曲面,如圆柱面、圆锥面、椭圆柱面、椭圆锥面、双曲抛物面、锥状面和柱状面等。

② 双曲曲面:只能由曲母线运动而成的曲面,如球面、环面等。

同一个曲面可能由几种不同的运动形式形成,如圆柱面,既可以看作直线绕着与之平行的轴线做旋转运动而成,也可以看作一个圆沿轴向平移而形成的。

(3) 根据曲面能否展开成平面分类。

① 可展曲面:能展开成平面的曲面,如柱面、锥面。

② 不可展曲面:不能展开成平面的曲面,如椭圆面、椭圆抛物面、曲线回转面。

只有直纹曲面才是可展曲面,双曲曲面都是不可展曲面。

5. SketchUp 中的“体”(Entity)

几何学中的“体”可以解释为“多个面围成的几何体”,也可以解释为“占有—定空间的几何体”,即一个规则图形,通过旋转、平移等运动,形成的轨迹变成的 3D 图形称为“体”。而 SketchUp 中的“体”(Entity)的形态还要更多一些,至少包括以下几类。

(1) 经典柱体,包括圆柱和棱柱。棱柱又可分为直棱柱和斜棱柱,按底面边数的多少还可分为三棱柱、四棱柱、 N 棱柱。

(2) 经典锥体,包括圆锥体和棱锥体,棱锥分为三棱锥、四棱锥及 N 棱锥。



1.3 SketchUp 中的曲线与曲面

本节的内容将分成两部分，分别为“关于曲线”与“关于曲面”。内容可能会有点枯燥。虽然这本书的内容（包括在 SketchUp 中的实际建模操作）多少跟数学与几何学有关，但本书终究不是以研究讨论数学或几何学为最终目标的，所以下面的内容中，除了实在有必要的部分之外，尽可能直接给出通俗易懂的结果，避免枯燥乏味的过程推导。读者如果有兴趣深入研究相关的理论基础，可查阅章后所附的参考文献。

1. 关于“曲线”

曲线是构建曲面的基础，在曲面的理论研究与应用中占有非常重要的地位。想要讨论“曲面”就要先了解“曲线”，所以现在就从“曲线”开始。

1) 曲面的基础——曲线

“曲线”是“点”运动的轨迹。按照点运动时有无一定的规律，曲线可分为规则曲线与不规则曲线。按曲线上各点的相对位置，曲线又可分为平面曲线与空间曲线。

(1) 平面曲线：指移动的各点都位于同一平面上的曲线，如圆、椭圆、双曲线、抛物线、渐开线、阿基米德涡线等。研究平面曲线的工具是平面解析几何。

(2) 空间曲线：指任意连续四点不位于同一平面的曲线，如各种螺旋线以及曲面在一般情况下相交所形成的交线。研究空间曲线的工具是微分几何。

2) 曲线的结构特征

因为曲线是点的集合，所以画出曲线上的一系列点，并将各点依次光滑连接得到该曲线，这是绘制曲线的一般方法。若能画出曲线上一些特殊的点，如最高点、最低点、最左点、最右点、最前点及最后点等，并光滑连接，则可更确切地表示曲线。

3) 曲线的“阶次”

我们时常会见到以“阶次”的高低来描述曲线。曲线阶数的值越大，受控制点的影响越小（也就是越可以精确调整），曲率就越平缓顺滑。当阶数为 1 时就是折线。多项式中的最大指数称为多项式的“阶次”，例如 $6x^3+3x^2-8x=10$ 的阶次为 3 阶；而 $5x^4+6x^3-7x=10$ 的阶次为 4 阶。

其实，曲线的阶次仅用于判断曲线的复杂程度，而不是精确程度。曲线的阶次越高，曲线就越复杂，计算量就越大。使用低阶曲线则更加灵活，更有利于后续操作（如显示、编辑与分析等），软件运行速度也更快。还便于与其他计算机辅助设计系统进行数据交换，所以许多计算机辅助设计工具通常只接受三次曲线。一般来讲，最好使用低阶曲线，这就是各种计算机辅助设计软件中默认的曲线阶次都为低阶的原因。SketchUp 当然也不例外。

4) 曲线的形式

曲线按数学形式分类，可以分为直线、二次曲线（如圆弧、圆、椭圆、双曲线、抛物线等）、样条曲线等。样条曲线又可分为 B 样条曲线和非均匀有理 B 样条曲线等，因为非均匀

有理B样条曲线已作为世界工业标准,所以一般无特别说明的,都指非均匀有理B样条曲线(可查阅1.1节的介绍)。曲线的连续性通常有点连续、切线连续、曲率连续,以曲率连续最为光滑。

5) 规则曲线

规则曲线就是按照一定规律分布的曲线。规则曲线根据结构分布特点,可分为平面规则进线和空间规则曲线,分别介绍如下。

(1) 平面规则曲线:凡曲线上所有的点都属于同一平面,则该曲线称为平面曲线。常见的圆、椭圆、抛物线和双曲线等可以用二次方程描述,见图1.3.1。平面曲线的投影性质从略。

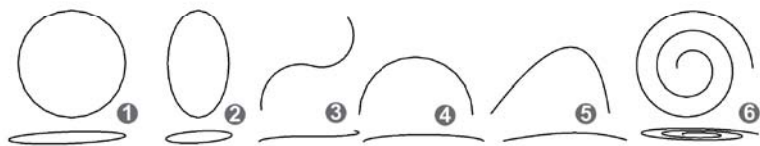


图 1.3.1 平面规则曲线

(2) 空间规则曲线:凡是曲线上有任意4个连续的点不属于同一平面,则称该曲线为空间曲线。常见的空间规则曲线有圆柱螺旋线和球面螺旋线等,图1.3.2中①②③是3种空间规则曲线的正视图,1.3.2中④⑤⑥所示的是①②③对应的俯视图。

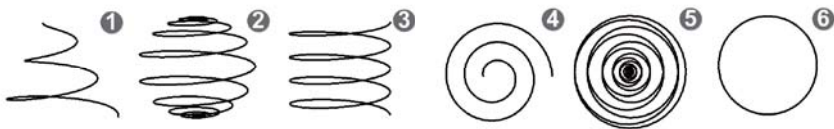


图 1.3.2 空间规则曲线

6) 不规则曲线

不规则曲线又称自由曲线,是指形状比较复杂、不能用二次方程准确描述的曲线。其涉及的问题有两个方面:一是被修改过的自由曲线,使其满足设计者的要求,如图1.3.3②所示;二是由已知的离散点确定的曲线,如图1.3.3①所示。使用平面离散点获得曲线特征,则必须首先通过拟合方式形成光滑的曲线。离散点确定了曲线的大致形状,拟合就是强制曲线沿着这些点绘制出样条曲线。拟合的方法常见的有“插值拟合”(见图1.3.3①a、b、c、d)与“逼近拟合”(见图1.3.3②a b c d)等(见图知意,不展开讨论)。

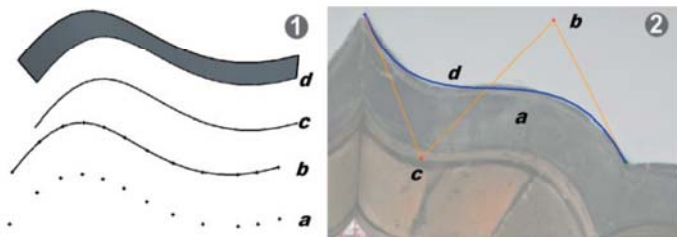


图 1.3.3 不规则曲线示例(插值拟合与逼近拟合)



2. 关于“曲面”

曲面可看成一条动线（母线），在给定的条件下进行空间连续运动的轨迹。常见的有平面、旋转面和二次曲面。圆锥的侧面是曲面，但展开后是平面。

1) 曲面的分类

(1) 根据形成曲面的母线形状分类，曲面可分为以下几种。

① 直线面：由直母线运动而形成的曲面，如图 1.3.4 ①②③所示。

② 曲线面：由曲母线运动而形成的曲面，如图 1.3.4 ④和⑤所示。

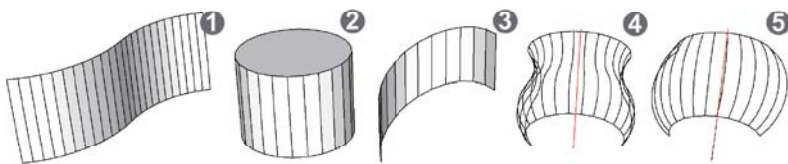


图 1.3.4 直线面与曲线面

(2) 按曲面形成的原理分类（不展开讨论）。

① 函数曲面：是指能由解析函数来表示的曲面，又称解析曲面，如球面、椭球面、圆柱面、双曲抛物面等，这些曲面都属于二次曲面。所谓二次曲面，即曲面的解析表达式是最高次数为 2 次的代数表达式。

② 自由曲面：当曲面不能由解析函数表达式来表示时，称为自由曲面。

2) 曲面的结构特征

所有的面都可以归类为曲面。平面是曲面的一种，平面是曲率为 0 的曲面。常见的曲面还有旋转曲面、二次曲面、直纹面、可展曲面、极小曲面、多面曲面、单侧曲面等。

(1) 旋转曲面。也称回转曲面，是一类特殊的曲面，它是一条平面曲线绕着它所在的平面上一条固定直线旋转一周所生成的曲面。该固定直线称为旋转轴，该旋转曲线称为母线。曲面和过旋转轴的平面的交线称为经线或子午线，见图 1.3.5 ①；曲面和垂直于旋转轴的平面的交线称为纬线或平行圆，见图 1.3.5 ②。

(2) 二次曲面。直线与二次曲面相交于两个点；如果相交于 3 个点以上，那么此直线全部在曲面上。这时称此直线为曲面的母线。如果二次曲面被平面所截，其截线是二次曲线。通常将三元二次方程所表示的曲面称为二次曲面，如图 1.3.5 ③④所示。平面是一次曲面。

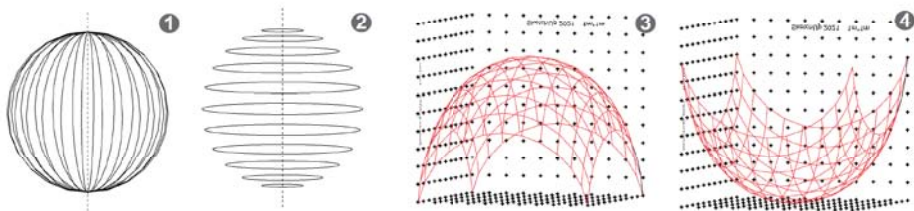


图 1.3.5 旋转曲面与二次曲面

二次曲面大致可归纳为 12 种，如下所列（截图略）：

- | | |
|-------------------------------|--|
| ① 圆柱面 (Cylindrical surface); | ⑦ 球面 (Spherical surface); |
| ② 椭圆柱面 (Elliptic cylinder); | ⑧ 椭球面 (Ellipsoid); |
| ③ 双曲柱面 (Hyperbolic cylinder); | ⑨ 椭圆抛物面 (Elliptic paraboloid); |
| ④ 抛物柱面 (Parabolic cylinder); | ⑩ 单叶双曲面 (Hyperboloid of one sheet); |
| ⑤ 圆锥面 (Conical surface); | ⑪ 双叶双曲面 (Hyperboloid of two sheets); |
| ⑥ 椭圆锥面 (Elliptic cone); | ⑫ 双曲抛物面 (马鞍面) (Hyperbolic paraboloid)。 |

(3) 直纹面。可以描述为直线扫过的一组点形成的面，如图 1.3.6 ①②③⑤⑥所示。如保持线的一个点固定，另一个点沿着圆移动形成锥体，如图 1.3.6 ④所示。如果通过其每个点都有两条不同的线，那么表面是双重的。双曲抛物面和双曲面是双重曲面（截图略）。

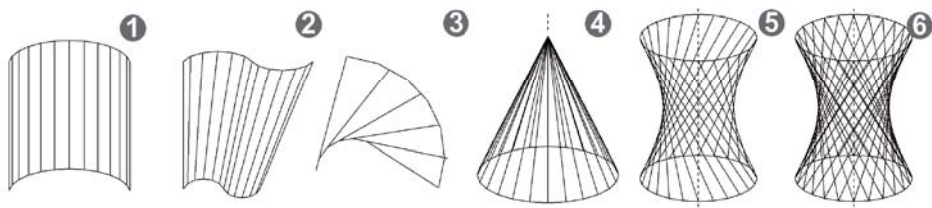


图 1.3.6 直纹面与直纹曲面

(4) 直纹曲面。在几何学中，“由一条直线通过连续运动构成的曲面则可称其为直纹曲面”，最常见的直纹曲面是平面、柱面和锥面。著名的莫比乌斯环也是直纹曲面（截图略）。

(5) 可展曲面。它是在其上每一点处高斯曲率为零的曲面。有个一般性的定理表明：一片具有常数高斯曲率的曲面能够经弯曲（非拉伸、收缩、皱褶或撕裂）而变为任何一片具有相同常数高斯曲率的曲面。图 1.3.7 是两个例子。

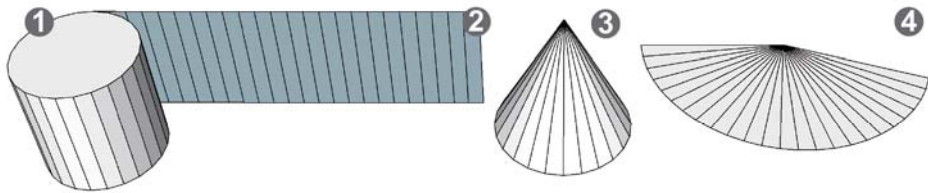


图 1.3.7 可展曲面示例

(6) 经典旋转体。它包括圆柱、圆台、圆锥、球、球冠、弓环、圆环、堤环、扇环、枣核形等。

(7) 跟随体。一个截面沿路径连续移动形成的“体”形状千变万化，无穷无尽（截图略）。

(8) 修整体。经修整后的原始几何体，修整可能是对顶点、线或面的编辑或布尔运算。

(9) 点云体。这是传统经典几何学里没有的几何体类别，以光学扫描或非光学手段获得的数据创建的几何体。



1.4 曲面在 SketchUp 中的实现

本节的内容可看成 SketchUp 创建曲面方法的大汇总，也可以看作本书将要展开讨论的创建曲面方法的预览。所要介绍的方法，有些用 SketchUp 自带的原生工具就可以完成，这部分将在第 2 章来讨论。更多的则需要外部的扩展程序（插件）来配合，所需的插件品种多，各有各的操作要领；很多插件的底层逻辑非常复杂，可调整的参数很多，运行规则与原理也不太容易理解，操作程序也不容易都能记住，这是 SketchUp 曲面建模一个大大的课题与难题。各种插件的操作要领与应用实例将在与本书配套的重要工具书《SketchUp 常用插件手册》中详细讨论。

1. SketchUp 中立体的分类

在展开讨论 SketchUp 如何实现曲面创建之前，先回顾一下几何学中“立体的分类”，几何学中把立体分成“曲面立体”与“平面立体”，分别简述如下（例子都是理想的“正几何体”）。

（1）曲面立体：是由曲面或曲面与平面围成的基本几何体。常见的曲面立体如图 1.4.1 所示。有圆柱①、圆锥③、半球体④、圆环⑤、正半球⑥等；圆锥被截顶则成了如图 1.4.1 ②所示的“锥台”。曲面立体的曲表面可以看作母线绕轴线回转而形成的，因此，这类曲面立体又称为“回转体”，其曲表面称为“回转面”。

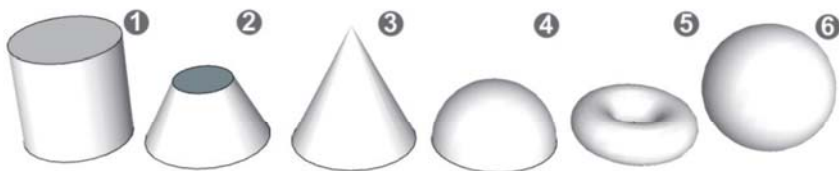


图 1.4.1 曲面立体示例

（2）平面立体。由若干平面围成的基本几何体称为平面立体。平面立体主要有棱柱和棱锥两种。棱柱的棱线互相平行，如图 1.4.2 ①与④所示，棱锥的棱线交于一点，如图 1.4.2 ②与⑤所示，棱锥被截顶则形成“棱台”（截台），如图 1.4.2 中的③和⑥所示。

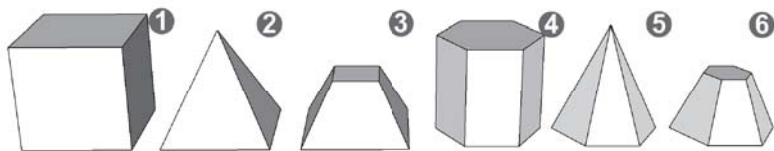


图 1.4.2 平面立体

（3）SketchUp 中的多面体。3D 建模领域广泛应用着三边面和四边面作为基础拓扑单元，有些特殊的地方还使用五边面、六边面和七边面，请看如图 1.4.3 所示的一些实例：图 1.4.3 ①②所示为两个以三边面为基础单元的几何体；如图 1.4.3 ③所示的 3 个对象，看起来都是以四边

面为基础的几何体，其实只有圆环才是，两个球体的南北极都是三边面；图 1.4.3 ④所示为十二面体，全部由五边面组成；图 1.4.3 ⑤所示为六边面和五边面混合而成的球体。

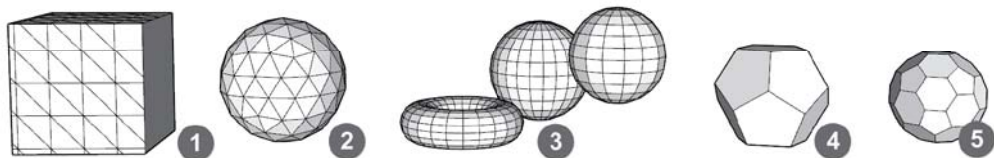


图 1.4.3 多面体

有些声称可以把三边面转换成四边面的工具，其实是把两个相邻的三边面合并在一起，隐藏了拼合的对角线，看起来像是四边面，其实质仍然是三边面，这种四边面称为“non-planar quads”，也就是“非平面四边面”，这是 SketchUp 曲面建模中要记住的一个重要概念。

2. 推拉（挤出）成形

有些讨论 SketchUp 的文章借用其他 3D 软件的提法，将 SketchUp 中的“推拉”称为“挤出”（Extrude），作者以为用“挤出”来描述 SketchUp 的“推拉”（Push-pull）不甚合理，因为 SketchUp 的“推拉”隐含着增加与减少对象体量的双重含义，而“挤出”至少从字面上看，只有增加体量的意思。

SketchUp 中的“推拉”是以沿着直线路径移动一个轮廓面构成一个立体或改变原有立体的 3D 成形方法，是一种几乎所有 3D 建模软件都有的方法。SketchUp 中的“推拉”有两种用法，区别在于是否按住 Ctrl 键。JointPushPull Interactive（联合推拉）插件中还有更多的推拉方式（截图略）。

3. 2D 线成面（拉伸边线成形）

将曲线形成曲面有多种方法，如熟知的“拉线升墙”就是方法之一，其准确的名称是 Extrude Edges By Vector（拉伸边线）。图 1.4.4 就是这个工具的例子：图 1.4.4 ①所示为一条原始的波浪线，沿蓝轴向上移动后得到曲面，如图 1.4.4 ②所示；曲线沿红轴移动后得到平面，如图 1.4.4 ③所示；再沿蓝轴向下移动后增加了一个曲面，如图 1.4.4 ④所示；再次沿红轴向左移动，得到第二个平面，结果如图 1.4.4 ⑤所示。

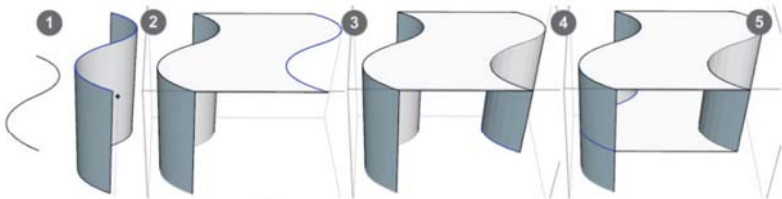


图 1.4.4 拉线成面



4. 路径跟随（旋转成形）

SketchUp 中的路径跟随有多种用法，这里所说的“旋转成形”是其中之一；也有文章称其为 turning（车削）（这个称呼不太合理，如图 1.4.5 中的④和⑥就不能用“车削”工艺成形）。这是把一个 2D 图形沿着一个轴旋转产生 3D 几何体的方法。大多数 3D 建模工具都有这种功能。

SketchUp 的路径跟随（旋转成形）必须具备 3 个条件：如图 1.4.5 ① a 所指的旋转轴（中心线）、图 1.4.5 ① b 所在的旋转平面（俗称放样截面）、图 1.4.5 ① c 所指的旋转路径（俗称“放样路径”。注意：SketchUp 默认以面的边线为路径）。图 1.4.5 ①③⑤⑦所示为准备旋转成形的条件，图 1.4.5 ②④⑥⑧所示为旋转成形的结果。

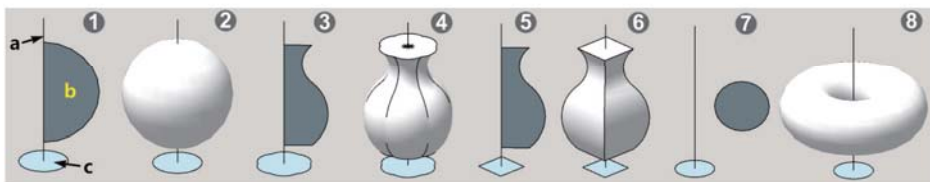


图 1.4.5 路径跟随（旋转成形）

5. 路径跟随（沿路径成形）

“路径跟随（沿路径成形）”是 SketchUp 路径跟随工具的第二种用法，俗称“路径放样”，这是令一个 2D 图形沿一条路径扫描形成 3D 立体的技术，利用这种技术可创建很多复杂的模型。

用这种方式建模必须满足两个条件：一是必须有一条连续的“放样路径”，如图 1.4.6 中所有的“a”所指；二是必须有一个垂直于路径的“放样截面”，如图 1.4.6 中所有的“b”所指。

图 1.4.6 ①③⑤⑦所示为符合上述条件的放样路径与截面，图 1.4.6 ②④⑥⑧所示为放样后的结果。

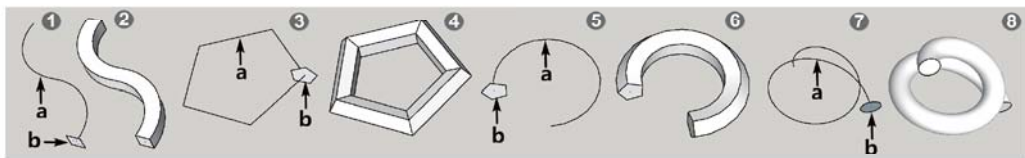


图 1.4.6 路径跟随（沿路径成形）

还有一个附带的注意点，即放样截面与路径的相对位置将影响放样后的结果。

6. 路径跟随（倒角成形）

“路径跟随（倒角成形）”是通过直线或曲线生成一个带有倒角边界的截面，能够生成倒

角截面的线条包括圆弧、曲线或直线。用圆弧或直线倒角，除了美观外，还能有效地避免物体的尖锐边缘（见图 1.4.7）。在实际操作中，很多边界（如相框或装饰线条）需要使用曲线生成倒角，这样可以使物体看起来更加美观。

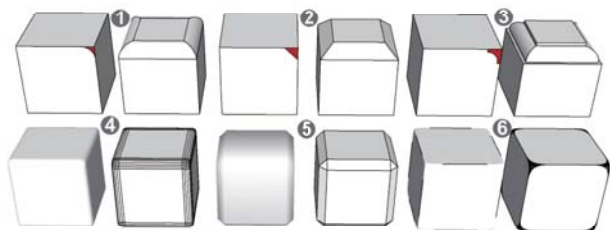


图 1.4.7 路径跟随（倒角成形）

7. 折叠成形

“折叠成形”是 SketchUp 里一种非常重要的造型手段，可惜很多 SketchUp 的老用户都不知道它的存在，更不会经常运用它。SketchUp 的折叠成形是用移动工具或者再加上 Alt 键配合，下面给出几个例子，但远不是全部。

如图 1.4.8 所示，其中①是立方体顶部的中心线，②是用移动工具向上移动中心线形成尖顶，③是用推拉工具拉出厚度，④是用移动工具移动两条边线合到一起，⑤是在正方形的中间画个圆形，⑥是选中圆形后，用移动工具，按住 Alt 键向上移动圆形，得到传统“天圆地方”的造型。

图 1.4.8 的下面两排也是用移动工具做的折叠造型，具体操作可查阅《SketchUp 要点精讲》一书第 5 章。

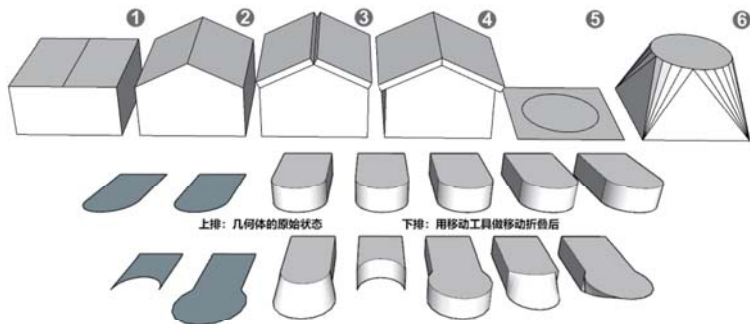


图 1.4.8 折叠成形（用移动工具或加 Alt 键）

8. 螺旋成形

SketchUp 中的螺旋成形，通常是从生成螺旋线开始的，虽然用 SketchUp 的原生工具也可以生成螺旋线（见本书 6.2 节），但是因为太麻烦，大多用插件来生成螺旋线，而后再加



工成形。图 1.4.9 ①所示为“宝塔螺旋线”，图 1.4.9 ②所示为以图 1.4.9 ①的螺旋线为基础创建的蜗牛，图 1.4.9 ③也是“宝塔螺旋线”，图 1.4.9 ④所示为以图 1.4.9 ③为基础创建的螺旋体，图 1.4.9 ⑤所示为用多圈螺旋线创建的螺栓，图 1.4.9 ⑥所示为用单圈螺旋线创建的弹簧垫圈。

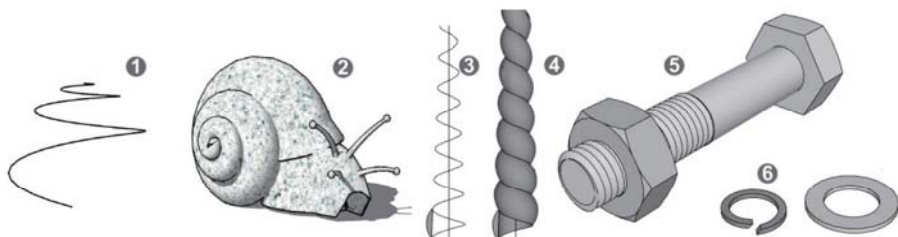


图 1.4.9 螺旋成形

9. 扭曲成形

扭曲也是 SketchUp 中一种常用的造型方法，通常用 SketchUp 的旋转工具或相关插件来配合完成。图 1.4.10 ①所示为用扭曲方法创建的麻花钻，图 1.4.10 ②和③所示为用扭曲方法创建的教堂尖顶，图 1.4.10 ④和⑤所示为用扭曲方法创建的花盆。

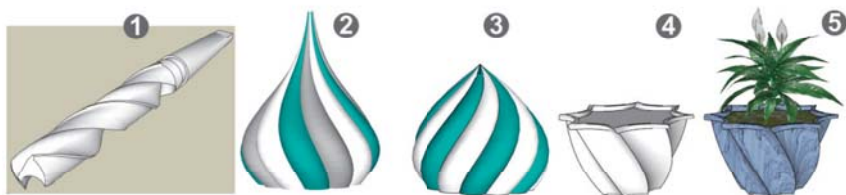


图 1.4.10 扭曲成形

10. 弯曲成形

SketchUp 自身并没有原生的弯曲功能，所以需借助外部插件来配合。能够在 SketchUp 中完成对几何体弯曲的插件有三四种，有能够精准完成真实弯曲的，如图 1.4.11 ①所示；还有可按照用户意图按需弯曲的，如图 1.4.11 ②所示；甚至还有可随意弯曲的，如图 1.4.11 ③所示。

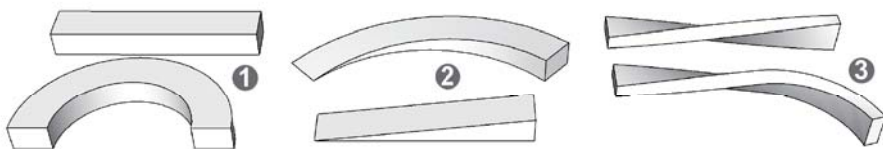


图 1.4.11 弯曲成形

11. 单轨旋转成形（单曲线旋转放样）

这是一种仅用一条曲线沿轴做旋转放样的方式，要用 Extrude Tools 插件工具栏的旋转放样工具配合完成，示例如图 1.4.12 所示。

图 1.4.12 ①②③所示为准备好的一条曲线和一条中心线；预选曲线①，调用“旋转放样”工具，按顺序单击图 1.4.12 ②③；输入不同的旋转角度后按 Enter 键，可得到如图 1.4.12 ④所示的 45° 、图 1.4.12 ⑤所示的 180° 、图 1.4.12 ⑥所示的 270° 、图 1.4.12 ⑦所示的 360° 的结果。图 1.4.12 ⑦所示的“放样精度”很低，不过可以输入新的片段数改变精度。

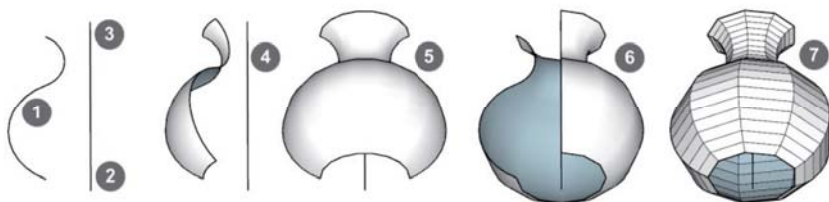


图 1.4.12 单轨旋转放样示例

12. 单轨扫描成形（单轨放样）

这是用两条曲线轨迹进行扫描并在它们中间形成一个曲面的技术，同样需要插件配合完成。两条轨迹线中的任意一条都可以看成放样路径，另一条轨迹线沿路径移动形成曲面。所以有些插件把能完成这种任务的工具命名为“单轨放样”。图 1.4.13 ①②③所示为 3 组不同的轨迹线，图 1.4.13 ④⑤⑥所示为对应的放样成形结果。

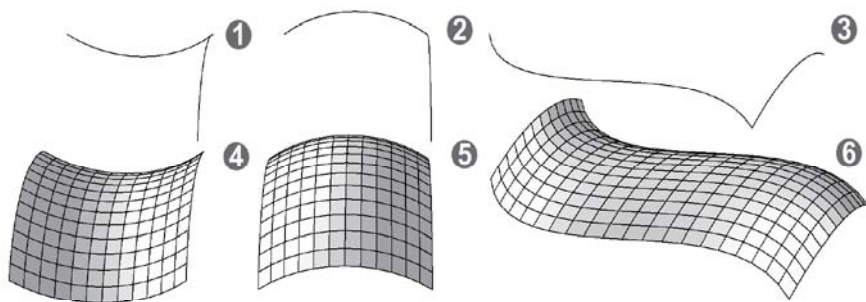


图 1.4.13 单轨成形示例

13. 边界曲面成形（多截面融合成形）

这是用很多不同的截面（也可以是边线）融合成形的技术，需插件配合。在曲面融合的过程中还能自动细分、折叠、平滑、柔化。图 1.4.14 ①②③④⑤⑥所示为曲线与成形融合后



的结果，特别是图 1.4.14 ③，仅用了两条水平线加一条垂线就生成了平滑无瑕的曲面，非常了不起。

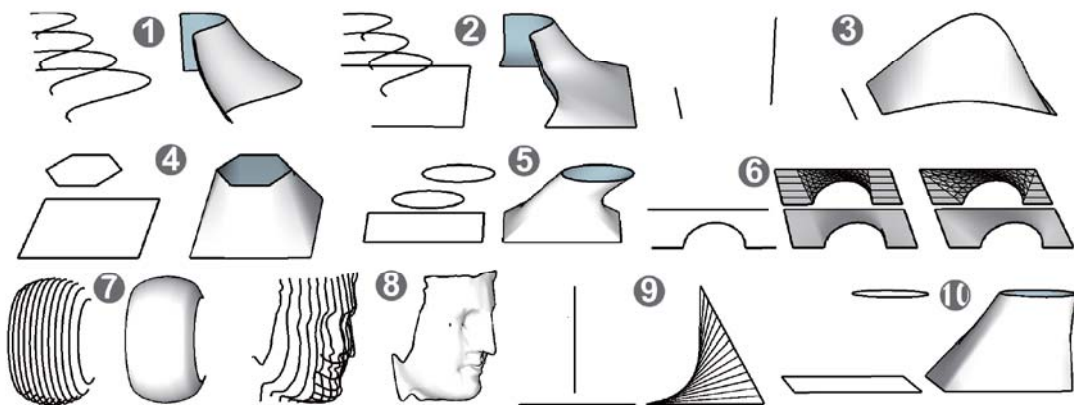


图 1.4.14 多截面融合成形示例

14. 轮廓线成形

这是一种用一组轮廓线生成曲面的技术（须插件配合），在生成过程中同样可自动完成细分、折叠、平滑与柔化。特别是图 1.4.15 ①②③所示从轮廓线生成曲面的过程中可见，中间的两个矩形轮廓是如何跟两端弧形的轮廓自动生成自然平滑的过渡。图 1.4.15 ④⑤和⑥⑦所示两组标本也有同样的表现。

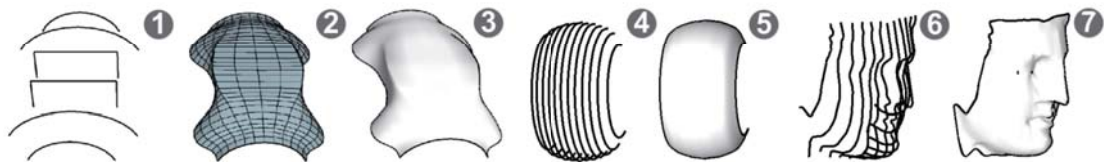


图 1.4.15 轮廓线成形

15. 线框成形

这是一种以既有线框自动封面成形的方法，可以更加精准地实现创意，但需要插件配合。

(1) 图 1.4.16 最上面一组是创意中的线框，线框必须是封闭的。

(2) 图 1.4.16 中间的一组是取消自动柔化后暴露出的网格，可见部分生成了四边面，大多折叠成了三边面，可见这类插件有一定的智能识别判断能力，能够尽量优化模型。

(3) 图 1.4.16 最下面一排是自动柔化的结果，基本光滑柔顺。

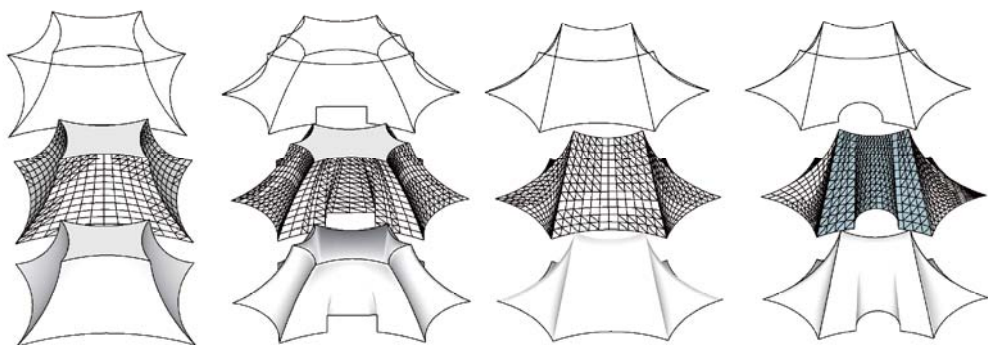


图 1.4.16 线框成形

16. 面加路径成形

也许有人会奇怪, SketchUp 的路径跟随的实质不就是“面加路径成形”吗? 这里所说的“面加路径成形”与 SketchUp 原生的“路径跟随”的区别是, 面的数量不再局限于 SketchUp 路径跟随的“一条路径与一个垂直于路径的截面”。这种成形的方法, 虽然路径仍然只有一条, 但是放样用的截面可以是很多个不同形状的面, 在放样成形过程中, 可自动完成细分、折叠、平滑与柔化, 从而得到近乎无瑕的曲面对象。图 1.4.17 ①③⑤⑦所示为路径与截面的组合, 不同的截面既可以在路径的两端, 也可以出现在路径的任意位置, 截面的数量也没有限制。生成的曲面会按不同的截面自动形成平滑过渡。

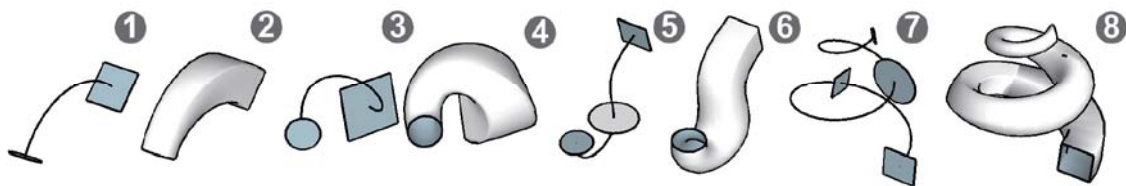


图 1.4.17 面加路径成形

17. 充气曲面成形

本书里将要提到的“充气曲面”有两种完全不同的生成方法。

(1) 用 Soap Skin Bubble (肥皂泡) 插件模拟充气的方法, 如图 1.4.18 所示, 它的特点是局限于只能生成单层凸出或凹入的曲面, 关键词是“面”, 并且生成的“曲面”形态相对简单。

如图 1.4.18 ①所示, 安排了一些柱子和与其相连的弧线, 用“肥皂泡”插件生成的张拉膜如图 1.4.18 ②所示。调整曲线的形状和充气的张力等参数, 可获得不同的张拉膜形状。

(2) 图 1.4.18 ③所示为一组用“肥皂泡”插件充气膜, 旋转复制后得到图 1.4.18 ④所示的“充气帐篷”。

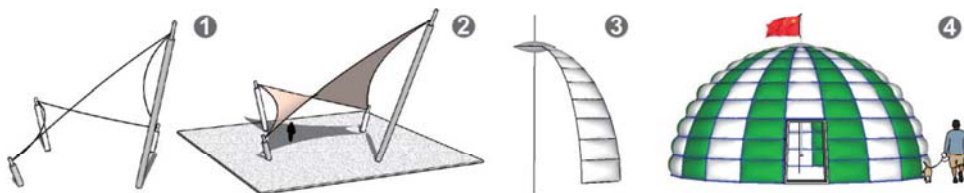


图 1.4.18 以“肥皂泡”插件成形的示例

(3) 充气结构不一定全要用“肥皂泡”插件，图 1.4.19 就是综合运用 SketchUp 的其他插件与技巧生成近乎实体的充气部件，综合运用其他工具与一系列技巧，还可生成各种形态、各种用途的气膜结构，如气肋、气枕、气囊等多种充气曲面模型。



图 1.4.19 以其他插件形成的气肋式游泳馆示例

18. 无序曲面

有些特殊的模型，其表面是不规则的，如窗帘、床单、枕头、台布、旗帜等各种织物的表面应当产生自然起伏与折皱的效果，同时还要有准确的 UV 纹理。现在只要合理运用“布料模拟”插件就可以完成之前 SketchUp 里想都不敢想的任务。

图 1.4.20 ①②③所示的是单层布料的窗帘与旗帜曲面模型，并且保留了准确的纹理。图 1.4.20 ④所示的两只枕头是无序的有体量的曲面模型，也有准确的 UV 纹理。图 1.4.20 ⑤所示的面纱与⑥所示的渔网，都有各自的特色。这种以往只能借用其他 3D 软件创建的模型，现在用 SketchUp 也可以轻易完成了。

19. 点云逆向重建

以点云相关原理创建曲面模型的方法与技巧有很多，尽管这部分的内容非常丰富，但是为了不至于占用太多篇幅，下面把包括“扫描点云重建”“照片建模”“灰度图建模”等内容全部集中在一起介绍。更详细的内容可查阅第 17、18 章与第 21 章的一部分。

(1) 图 1.4.21 所示为以一幅灰度图（见图 1.4.21 ①），生成立体浮雕（见图 1.4.21 ②），图 1.4.21 ③④所示为改变颜色后的效果。

(2) 图 1.4.22 所示为 3 个用照片建模的例子，其中，图 1.4.22 ①所示的石狮子由 4 层共 66

幅手机环拍的照片生成，图 1.4.22 ②所示的高浮雕模型由 14 幅等高度拍摄的照片生成，细节纤毫毕露，如图 1.4.22 ③所示的人物石雕以 3 层共 28 幅手机拍摄的照片重建模型。



图 1.4.20 无序曲面示例

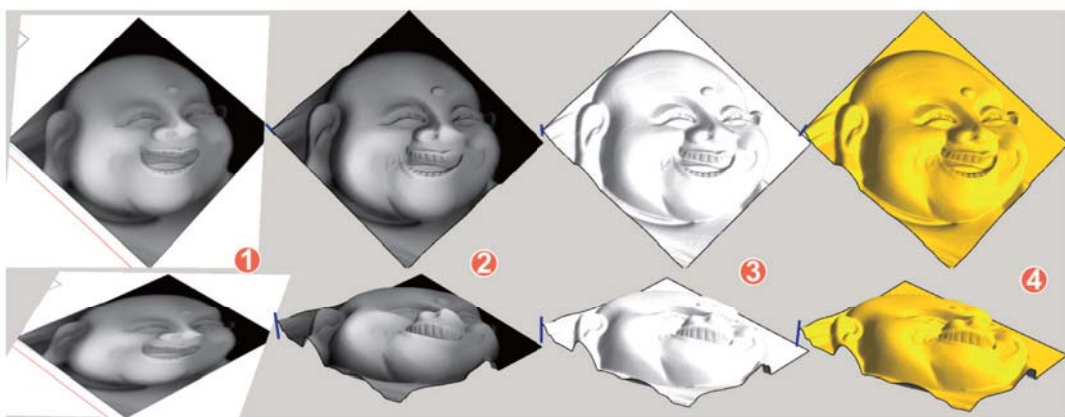


图 1.4.21 灰度图建模示例



图 1.4.22 照片逆向重建示例



(3) 图 1.4.23 所示的两幅图片是用天宝公司的激光 3D 扫描的点云数据进行精准拼接、降噪、分割离散点、剔除非目标区域,提取出房屋立面结构成功实现逆向重建。



图 1.4.23 激光扫描逆向重建示例

说明: 本节附件里只有上述部分简单实例,更多的实例将在后面的相关章节细述。

1.5 SketchUp 曲线曲面编辑工具概述

1.4 节介绍了在 SketchUp 中能实现的近 20 种曲面建模手段,有用 SketchUp 原生工具可以完成的,也有必须用插件才能完成的。对于曲面的编辑也是一样,可以用 SketchUp 自带的工具进行,也有 SketchUp 原生工具无能为力而必须用插件参与的编辑。下面仅对作者个人最常用的插件做个简单的梳理,不包括偶尔用一下的冷门插件。相信作者常用的插件也是大多数 SketchUp 用户难以拒绝的,为了让读者有个大致的概念,下面所介绍的插件仅仅是作者常用的,远不是全部。

1. SketchUp 原生工具就能完成的编辑

如移动与复制、旋转与复制、镜像、缩放、倒角(用路径跟随工具)、切割(剖切面编组后炸开)、切割(用模型交错)、布尔运算(用实体工具)、沙盒工具等,以上这些都是绝大多数读者所熟悉的,就不再赘述了。如果你是初学者,可查阅这个系列教程中的《SketchUp 要点精讲》《SketchUp 建模思路与技巧》《SketchUp 用户自测题库》等书籍与配套视频。

2. 最常用的几种重要插件

(1) JHS 超级工具栏:这是必须安装的工具栏,里面有很多实用工具,作者常用的有“分级柔化”“拉线生墙”“直立跟随”“生成面域”“按轴对齐”“顶点参考点”“镜像”“超级焊接”“组件至参考点”“自由变形(FFD)”等。

(2) 曲线与曲面绘图工具:绘制曲线,除了使用 SketchUp 自带的圆弧与徒手线工具外,用得最多的就是“贝塞尔曲线”工具,偶尔会用到“螺旋线工具”与 CurveMaker(铁艺曲线)。

做曲面模型，免不了要在曲面上绘图，SketchUp 本身不具备此能力，Tools On Surface（曲面绘图工具）是唯一可选项。

（3）曲线选择与优化工具：在 SketchUp 中处理曲线，时常要对一个个线段做加选，非常麻烦，Select Curve（选连续线工具）非常好用。对于分段精度太高的线，需要简化；反过来，对于精度太低的线又要适度增加线段数量，Curvizard（曲线优化工具）是不二选择。近年新出现的 NURBS Curve Manager（曲线编辑器）功能强大。此外，还有两个好用的工具，即 Selection Toys（选择工具）和 Edge Tools（边线工具），对于线和面有多种选择，可明显简化建模操作。

（4）路径垂面与倒角：把放样截面精准垂直于曲线路径是件不容易做好的事情，路径垂面工具（PerpendicularFaceTools）可以帮大忙；各种“倒角”的任务交给 RoundCorner（倒角插件）来完成也尽可放心。

3. 扭曲与弯曲变形

老资格的用户都知道 Fredo Scale（自由比例缩放）工具，扭曲与弯曲都不在话下，因为自由度高，比后起之秀的 Truebend（真实弯曲）与 Shape Bender（按需弯曲）更适合“创作”，而不是“干活”。顺便说一下，尽管插件有上千个，能正经做扭曲的实在不算多（FFD 也能做扭曲）。

4. 线面成体的常用工具

JointPushPull Interactive（联合推拉）、Extrude Tools（曲面放样工具包）以及 Curviloft（曲线放样）这几大件是历史悠久的线面成体工具，加起来有 20 多个工具可选用，能解决 SketchUp 中一半以上曲面创建的任务。

5. 顶点编辑与细分平滑

SUBD（参数化细分平滑）、Vertex Tools²（顶点工具）与 QuadFaceTools（四边面工具）三组插件都是知名 Ruby 作者 Thomthom（tt）的作品，可以看成一套互相配合使用的曲面建模工具。把它们三者配合起来运用可以得到更高的效率和更好的效果。

6. 偶尔用到但不可或缺的工具

此类工具包括 Sketch UV（UV 映射调整）、ClothWorks（布料模拟）、Skimp（模型转换减面）、Flowify（曲面流动）、Curve scale（曲线干扰）、SoapSkinBubble（肥皂泡）、Bitmap to Mesh（灰度图转浮雕）、Stick groups to mesh（曲面黏合）、S4U To Components（S4U 点线面转组件）、Chrisp RepairAddFace DWG（DWG 修复）和 Skimp（模型转换减面）。



7. 关于“三边面与四边面”问题解惑

在 SketchUp 用户中，普遍对“四边面建模”方面有些错误的理解与困惑，下面是意译 SketchUp 的知名 Ruby 脚本作者 Thomthom 在发布 QuadFaceTools（四边面工具）时的说明，也许对正确理解所谓“四边面建模”有益。

“……许多应用程序允许你处理非平面四边形。然而在 SketchUp 中就不那么容易了。当你在 SketchUp 中修改一个四边形的顶点时，它会自动折叠并将四边形分成两个三角形——而其他 3D 应用程序可能会将其作为一个单元。

在每个 3D 应用程序的核心，所有东西都由三边面组成——唯一的区别是（不同软件）它们如何向用户展示三角形。然而，SketchUp 用户没有理由不能使用非平面四边形，只是我们需要了解它们。

这个工具集是对这样一套工具的尝试，让 SketchUp 用户使用四边形。我的方法在概念上很简单：当两个面被一个柔边（平滑只影响阴影）分开时，这两个面被视为一个单元。单击其中一个，就选择了两者，实体信息窗口说你已经选择了一个表面。基于此，下面是我如何在 SketchUp 中定义四边形：

（下面是对四边面工具的介绍，略。）

上文中的“非平面四边形”也称“伪四边面”，指的是把两个相邻的三边面合并成一个“非平面四边形”柔化掉三边面拼合后的对角线，以一个“非平面四边形（伪四边形）”的形象出现在我们面前，也可以用处理四边形的方式来处理它，其实质仍然是两个三边面。



扫码下载本章配套资源

第 2 章

简单曲面结构与造型 (不用插件)

但凡提到“曲面造型”或“曲面建模”，一些 SketchUp 用户就以为很复杂、很麻烦且离不开“插件”，其实，就算用 SketchUp 的原生工具和一些最简单的功能就可以创建很多并不简单的曲面模型。

本章将要介绍的就是用 SketchUp 原生的“路径跟随”“模型交错”“缩放变形”“实体工具”“移动折叠”“旋转折叠”“沙箱地形”等基本工具创建曲面模型的思路与技法。

需要指出，很多插件能做的也就是自动重复这些基本工具的基础功能。本章安排的内容是为了后续创建更复杂、更高级的曲面对象做一个必要的铺垫。

本章的所有演示实例未用插件，若你有兴趣跟随做本章相关内容的练习，也请自觉不用插件；这样做对于锻炼基本功、形成建模思路会有立竿见影的效果并能受惠终生。



2.1 路径跟随详述

路径跟随工具是 SketchUp 的重要造型工具。造型工具不同于绘图工具，造型工具可以把平面变成立体，甚至可以“无中生有”，还能用来修改立体的形状。

SketchUp 中的路径跟随工具、推拉工具和实体工具等都是造型用的工具；还有一个模型交错，它是一个菜单项，没有工具图标，但它也是一个重要的造型手段，时常跟其他工具配合创建曲面对象。这些工具都很重要，需要熟练掌握。

“路径跟随”其实是一个动词，这 4 个字放在“工具”之前，就组合成了名词，说的是一种工具。所以，为了避免混淆，当“路径跟随”是动词时，也可以沿用其他软件里的术语，称之为“放样”。路径跟随工具的应用方法非常灵活，需要设计师充分发挥想象力。

1. 完成“路径跟随”的必要条件

完成一次“路径跟随”（放样）的必要条件有以下两个，见图 2.1.1。

（1）要有一条连续的放样路径，放样路径可以是单条曲线或直线，也可以是曲线与曲线、曲线与直线的组合，唯一的要求是必须要首尾相接的连续线。

（2）要有一个垂直于放样路径的“放样截面”，放样截面可以是简单或复杂的几何图形，唯一的要求是要跟放样路径垂直。如果放样截面与放样路径不垂直，仍然可以完成放样，但放样结果将会变形。

除了以上两个必要条件外，还有一点需要注意，就是要注意放样截面跟放样路径的相对位置，譬如一个圆的放样截面与放样路径就有无数种不同的位置组合，通常要把放样截面的圆心对齐放样截面的端部，其他形状的放样截面也有同样的问题需要注意。



图 2.1.1 路径跟随的两个条件

2. 沿路径手动放样

SketchUp 的默认面板上有一个工具向导，单击路径跟随工具后会播放一个小动画展示其

使用方法，如图 2.1.2 所示。



图 2.1.2 小动画中的手动放样

这种方法可以称为“沿路径手动放样”，操作方法如下。

① 调用路径跟随工具；② 把工具靠近放样截面，这个平面被自动选中；③ 按下鼠标左键不要松开，使工具顺着放样路径慢慢移动，在移动的过程中，如果看到路径变成红色，就说明当前的路径可用，工具顺着红色的路径移动到头，放样就完成了。

试过这样操作的人都知道，用小动画里的方法做路径跟随不是很方便、可靠，适用范围仅限制在如图 2.12 所示的理想状态，实际操作中还经常会失败。

提到这个工具向导中的小动画，还有个笑话：有不少无师自通的 SketchUp 老用户告诉我，他们基本都是看着这些小动画学的 SketchUp，平时使用 SketchUp 的技巧也就局限于这些小动画所教会他们的这些。自从看过我发布在互联网上的视频教程，特别是关于路径跟随的一些教程后，他们用“恍然大悟”来形容。原来这么多年，他们在 SketchUp 中的操作居然一直是错的，错的源头就是这些工具向导中的小动画。还有一位玩 SketchUp 七八年的老用户笑说这些小动画“罪恶滔天”，害他走了这么多年的弯路……。下面要介绍的 3 种方法就是让他们“恍然大悟”的放样方法。

3. 沿路径自动放样

下面仍然对这些对象做放样操作，我的方法如图 2.1.3 所示。

- (1) 选择好全部放样路径，放样路径必须是首尾相连的连续线。
 - (2) 调用路径跟随工具，把工具移动到放样截面上单击，放样就完成了。
- 这种方法是不是要比小动画中的办法更快、更好些？

4. 旋转放样与循边放样

(1) 旋转放样同样需要放样路径和放样截面，图 2.1.4 左侧的 4 个图是做旋转放样的准备工作。

- (2) 在垂直面上画出放样的截面并截取一半（不截取也可以）。
- (3) 沿中心线往下，在水平面上画出旋转放样的形状，要跟放样截面相同或稍小些。

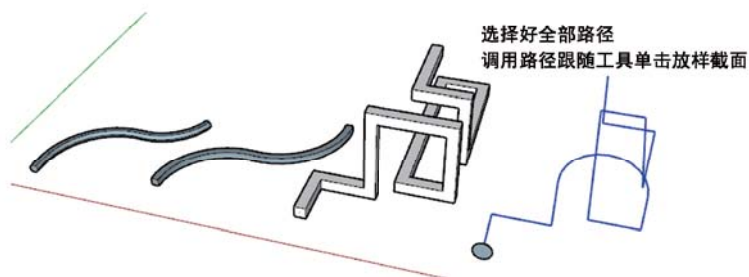


图 2.1.3 沿路径自动放样（路径放样）

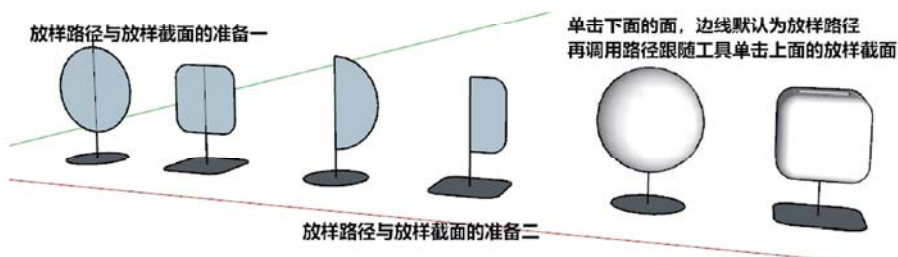


图 2.1.4 旋转放样

(4) 选择下部的面（所有边线默认为放样路径），调用路径跟随工具，单击放样截面即成。

图 2.1.5 左边 4 个图形是另外一些准备好要做“旋转放样”的对象。

图 2.1.5 右边 4 个图形是准备做“循边放样”的对象。

循边放样的方法：单击“循边”的平面，调用路径跟随工具，单击放样截面。

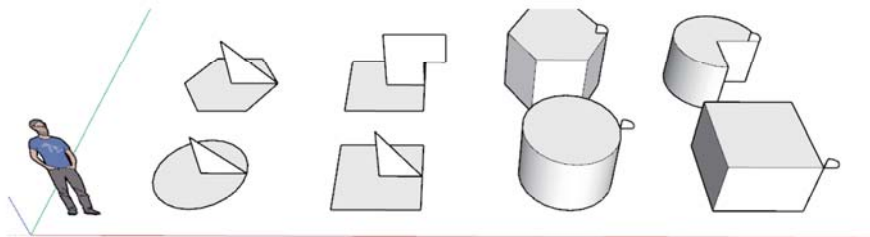


图 2.1.5 旋转放样与循边放样准备

图 2.1.6 所示为旋转放样与循边放样的成品，应注意其区别。

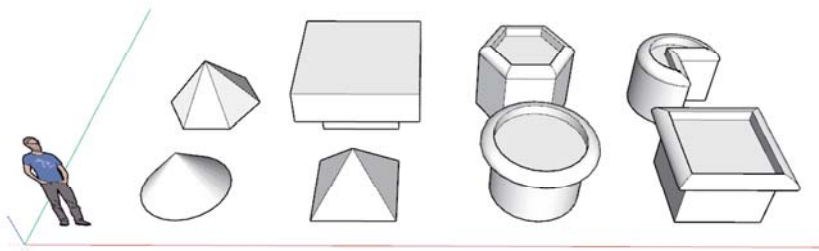


图 2.1.6 旋转放样与循边放样结果

5. Alt 键配合放样

在默认面板的工具向导小动画下面，对于路径跟随工具介绍了一个所谓的“功能键”。

抄录如下：“Alt = 将平面周长作为路径”。

这句话实在是含含糊糊、语焉不详，很少有人一下子就能看懂，其实这种路径跟随的操作要领是这样的，请看图 2.1.7 的演示。

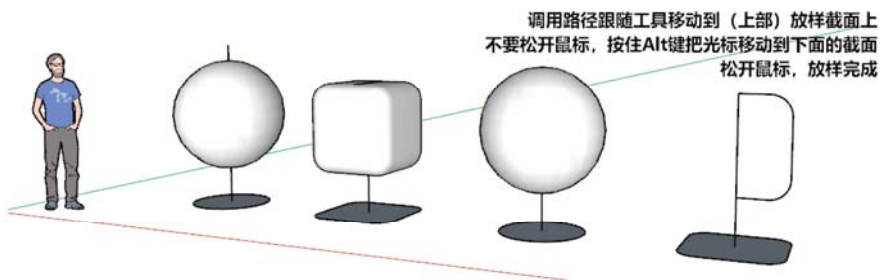


图 2.1.7 Alt 键配合放样的结果

放样截面（垂直面）和放样路径（水平面）的准备工作如前。

调用路径跟随工具，把工具移动到垂直的放样截面上，按住 Alt 键，把放样工具移动到水平的平面上，松开鼠标，放样成功。

用这个办法做放样操作，比第一种方法快了不少，但需要有点技巧，要练习一下。

6. 旋转放样的扩展应用

下面来看一些东西，有各种各样的形状；然而形状虽然不同，来源都一样，它们全都是来源于路径跟随工具的旋转放样。

图 2.1.8 中前排垂直面上的就是准备好的放样截面，躺在地面上的这些就是放样路径用的面，有圆形的、矩形的，还有梅花形的，放样路径的形状跟放样截面一起，决定了放样后的形状。

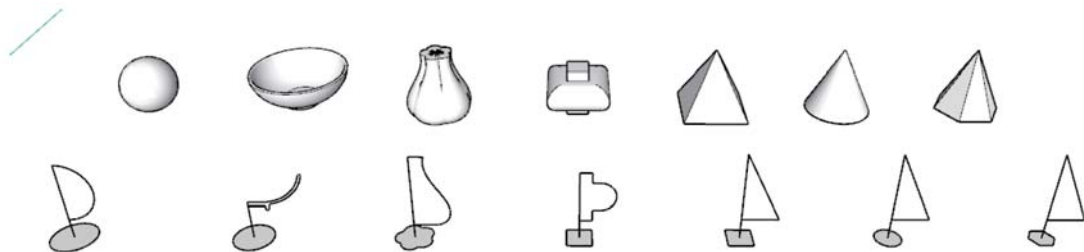


图 2.1.8 旋转放样示例

操作的方法是，选中水平的面（SketchUp 会默认以面的边线作为放样路径），调用路径跟随工具，单击垂直的面（放样截面），放样完成。



7. 特殊情况下的放样

如图 2.1.9 右侧所示,要在某些结构的凹入部分做出线脚形状,可以在图 2.1.9 所指的位置先画出放样截面(如位置受限,也可以在其他地方画好后移动过来),然后要做的仍然是预选作为放样路径的平面(或边线),调用路径跟随工具,单击放样截面即可。

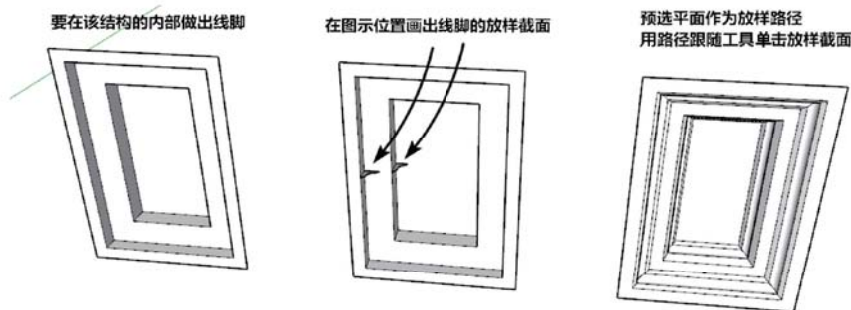


图 2.1.9 特殊的循边放样示例

8. 路径跟随的局限性

最后,还要提醒一下,虽然“路径跟随工具”功能强大,但还是有它的局限性。

图 2.1.10 所示为一些相同的螺旋线,螺旋线的端部有一些不同的放样截面,即一个圆形、一个缺角矩形、一个矩形。

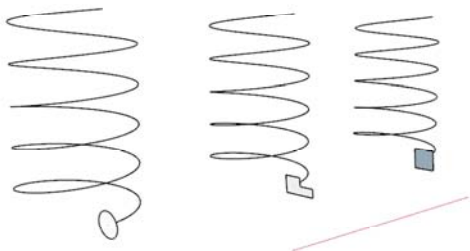


图 2.1.10 路径跟随准备

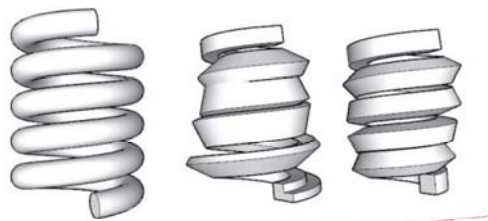


图 2.1.11 路径跟随缺陷

现在来做放样操作,先选择好放样路径,再调用路径跟随工具,单击放样截面。

圆形放样截面的图形,得到的结果跟预料是一样的,如图 2.1.11 所示。

另外两个图形的放样结果却惨不忍睹,螺旋线是一样的,就因为放样截面换成了矩形和缺了一个角的矩形,你能想到会有这么大的区别吗?这个结果显然不是我们想要的,放样的截面扭转了大约 180° ,这就是路径跟随工具先天的缺陷。想要解决这个问题,也不难,在系列教程的插件应用专题中,会介绍几个插件和解决的办法。

本节我们学习(复习)了 SketchUp 的路径跟随工具应用要领,包括“沿路径手动放样”“沿路径自动放样”“旋转放样”“循边放样”“Alt 键配合放样”及其扩展应用,还有“路径跟随工具的局限性”路径跟随工具及其活用,这些都是学习 SketchUp 建模非常重要的内容,请一定要动手练习,本节附件里有练习用的模型。

2.2 路径跟随(另一些问题与缺陷)

2.1 节复习(学习)了 SketchUp 路径跟随工具的 5 种放样形式,具体如下。

- (1)“沿路径手动放样”(就是工具向导小动画中的方法,问题多,不推荐用);
- (2)“沿路径自动放样”(改良的路径放样,又快又好,推荐使用);
- (3)“旋转放样”(也可称“车削放样”,放样截面沿放样路径的中心转一圈);
- (4)“循边放样”(特点是放样截面较小,并沿着放样路径转一圈);
- (5)“Alt 键配合放样”(有一定的局限性,不适用于路径放样,需练习)。

2.1 节还介绍了“路径跟随工具的局限性”,本节还要讨论路径跟随工具的另外一些局限性:请看图 2.2.1 ①③,这是两组放样用的路径与放样截面,图 2.2.1 ②④所示为完成放样后的结果。两组充当放样路径的平面都是“梅花形”,两组放样截面都是带有凸出圆弧的平面。两组实例的放样结果都符合原先的设想。

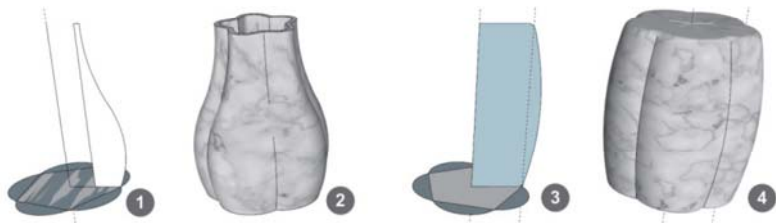


图 2.2.1 两组满意的放样

如图 2.2.2 ①所示的花盆看起来也是用上述类似的方式通过路径跟随放样与适当扭曲后形成的,图 2.2.2 ③所示为已经准备好的放样路径和放样截面,图 2.2.2 ②所示为创建放样路径和放样截面的过程。

为了方便对照,图 2.2.3 ①复制了图 2.2.2 ③所示的放样路径与放样截面。

现在再看看如图 2.2.3 ②所示的放样结果,放样完成后,问题一大堆,所有用箭头标出的位置,还有被遮挡的对应位置都有问题。

顺便说一下,如图 2.2.3 ②所示的问题,并非不能解决:用“模型交错”“删除废线面”“修补缺面”等措施也可以完成,但过程冗长,不确定因素多,会非常辛苦。

为了纠正上述的问题,我们尝试把用来当作“放样路径”的八角形平面适当缩小到跟“放样截面”的“圆弧起点”对齐,如图 2.2.4 ①所示。

图 2.2.4 ②所示为再次放样后的结果,原先有问题的位置有了明显的改良,但是又产生了

新的问题，请看图 2.2.4 ②箭头所指处：本该是圆弧形的位置全部变成了“折线形”，这显然不符合原先的设想。

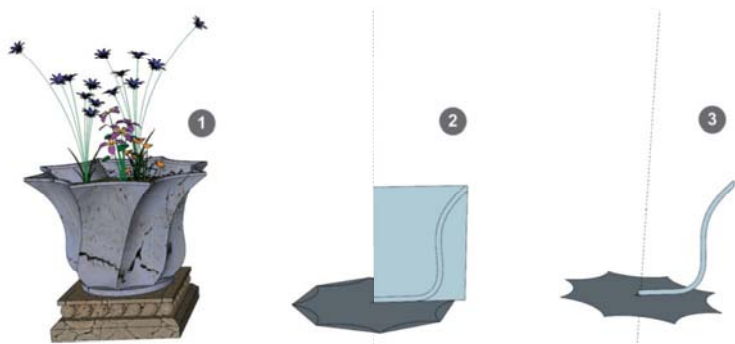


图 2.2.2 第二组放样的条件

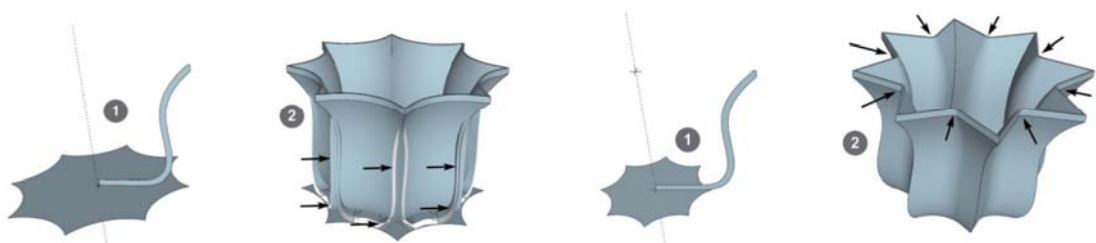


图 2.2.3 第二组放样结果

图 2.2.4 第二组新的问题

上面用一个例子说明了 SketchUp 路径跟随的另一些局限，希望引起你的注意。

此外，如何解决上面实例中暴露的缺陷，完成如图 2.2.2 ①所示的模型，是本节留给你的思考题与实战练习。在后面的篇幅里，还要对这个实例做深入讨论。

2.3 路径跟随交错实例 1（休闲椅）

这是作者 2010 年 10 月发布在某 SketchUp 专业论坛的图文教程（有部分改动）。

本节要做的是图 2.3.1 和图 2.3.2 所示的一套躺椅，玻璃钢材质，由一个躺椅和一个蛋形的“搁脚”组成。图 2.3.3 是侧视图，图 2.3.4 是俯视图，上面有一些主要尺寸，难以标注出的小尺寸将在操作步骤中给出，也可到附件里查看。

图 2.3.5 是保存在附件里的照片，下面就要用这幅照片做出这套躺椅，操作步骤如下。

- (1) 把该图片拉到 SketchUp 窗口中，要让它垂直站着，别让它躺下。
- (2) 炸开，重新创建群组，双击进入群组，用小皮尺工具调整尺寸（可参考图 2.3.3）。
- (3) 用圆弧工具与直线工具配合，沿躺椅的侧缘描出边线，如图 2.3.6 ①所指。
- (4) 用移动工具复制该边线到旁边，如图 2.3.7 所示。



图 2.3.1 成品一

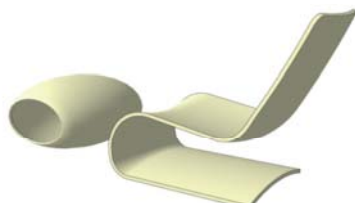


图 2.3.2 成品二

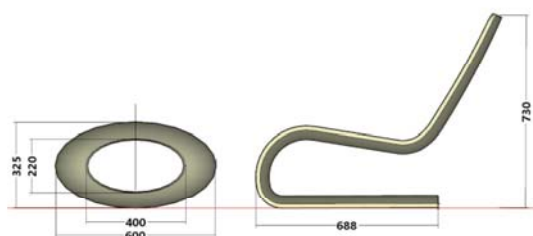


图 2.3.3 主要尺寸

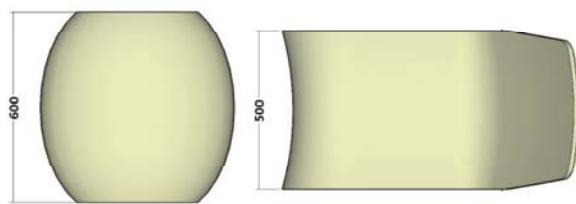


图 2.3.4 俯视图



图 2.3.5 原始照片



图 2.3.6 描绘曲线

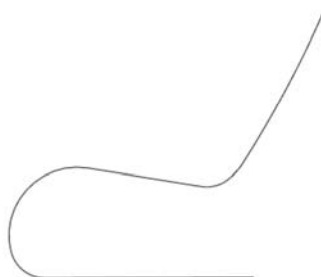


图 2.3.7 关键曲线

(5) 接着在上述边线的端部画出辅助面,并画出弧形的放样截面,如图 2.3.8 所示。弦长为 500mm,弧高为 34mm,两弧间距(即厚度)为 16mm 或 18mm。

(6) 做“沿路径放样”后得到躺椅的毛坯,如图 2.3.9 所示。

(7) 下面要按靠背的倾斜角度作辅助面、画辅助线,完成后如图 2.3.10 所示。

(8) 用毛坯正面左上、右上两个角点和图 2.3.11 ①②两点画矩形,并平行于靠背。

(9) 用量角器工具作斜线,用圆弧工具绘制圆弧,完成后如图 2.3.10 所示。

(10) 用推拉工具把该形状拉出到靠背的前面,如图 2.3.11 所示。

(11) 全选后做“模型交错”,如图 2.3.12 所示。

(12) 删除废线面后得到成品,如图 2.3.13 所示。

上面几步的目的是要用模型交错“切割”出靠背的造型,难点在于获取平行于靠背的辅助面。

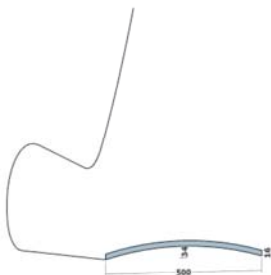


图 2.3.8 绘制放样截面



图 2.3.9 放样成功



图 2.3.10 创建平行辅助面



图 2.3.11 拉出形状

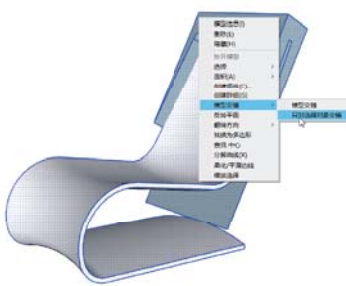


图 2.3.12 模型交错



图 2.3.13 建模完成

接着要作出“蛋形搁脚”的部分，操作步骤如下。

(1) 在地面上画一个 $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ 的矩形，向上拉出 600mm ，形成一个立方体，如图 2.3.14 所示。

(2) 在立方体侧面画圆，半径为 300mm ，如图 2.3.15 所示，它将是放样路径。

(3) 在立方体顶面上绘制弧形的放样截面，如图 2.3.16 所示，弧高为 150mm ；两弧间距相当于搁脚成品的厚度 16mm 。完成后如图 2.3.16 所示。

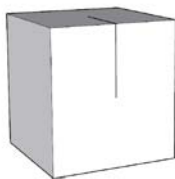


图 2.3.14 创建立方体

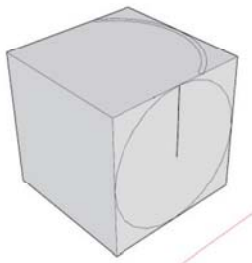


图 2.3.15 画圆与弧

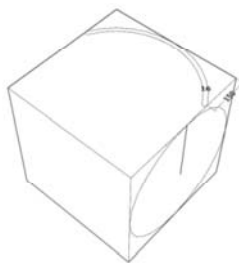


图 2.3.16 画圆与弧

(4) 删除所有废线面，只留下放样截面（弧）和放样路径（圆），如图 2.3.17 所示。

(5) 把放样截面的弧形移动到放样路径的中部，准备放样，如图 2.3.17 所示。

(6) 循边放样完成后如图 2.3.18 所示,用缩放工具把对象压扁到总高为 325mm 左右,总宽为 600mm 左右,如图 2.3.19 所示。

(7) 尝试赋予不同的颜色与不同的透明度,如图 2.3.20 至图 2.3.23 所示。

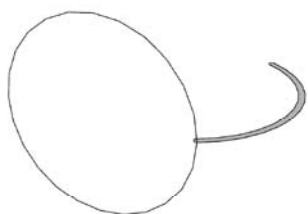


图 2.3.17 放样路径与截面



图 2.3.18 放样完成



图 2.3.19 缩放工具压扁

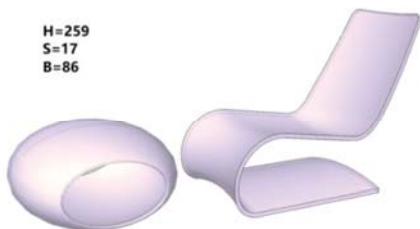


图 2.3.20 淡紫色

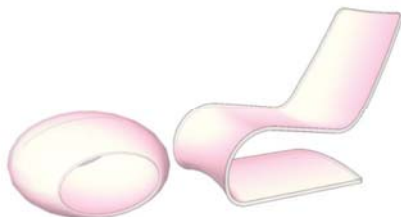


图 2.3.21 淡红色

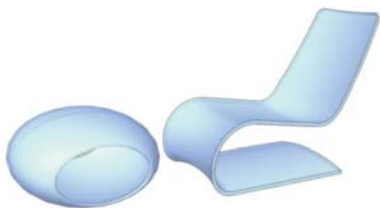


图 2.3.22 淡蓝色

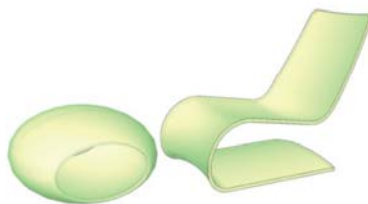


图 2.3.23 淡绿色

这里给你留下除建模之外的另一个练习:请尝试复制出若干份,用材质面板默认的“HSB”色系面板做产品的色彩设计,调配出不同的颜色,并截图做成供甲方挑选的产品色谱模板。

客户选中某款色后要生产出准确的颜色,所以必须记下每一款的“HSB”参数(关于“色彩和色彩设计”可查阅本系列教材中的《SketchUp 材质系统精讲》一书)。

这个实例的重点有 3 个:

- (1) 从照片获得对象的基本特征,如图 2.3.6 和图 2.3.7 所示。
- (2) 创建倾斜的辅助面以及为模型交错做准备的技巧,如图 2.3.10 和图 2.3.11 所示。
- (3) 再一次体会了路径跟随与模型交错这两大法宝。

2.4 路径跟随交错实例 2（弧形薄壳屋面）

图 2.4.1 至图 2.4.3 所示为作者于 2009 年 9 月应某网友的请求，发布在某论坛的图文教程（有部分更改）。本节的建模任务就是这 3 幅图中的美术馆蓝绿色的弧形薄壳屋面。

“薄壳”是一种曲面建筑构件，按曲面生成的形式分为筒壳、圆顶薄壳、双曲扁壳和双曲抛物面壳等，材料大都采用钢筋混凝土。壳体能充分利用材料强度，同时又能将承重与围护两种功能融合为一。实际工程中还可利用对空间曲面的切削与组合，形成造型奇特、新颖且能适应各种平面的建筑，薄壳结构的优点是可以把受到的压力均匀地分散到建筑物的各个部分，减少局部受到的压力。许多建筑物屋顶都运用了薄壳结构的原理，缺点是较为费工和费模板。

本节要用 SketchUp 的“路径跟随”和“模型交错”两种功能结合起来完成曲面造型。



图 2.4.1 参考图片一

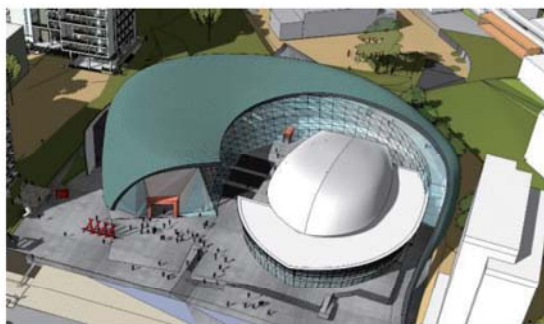


图 2.4.2 参考图片二

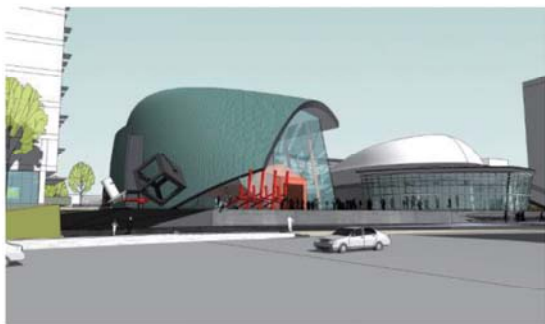


图 2.4.3 参考图片三

经分析可知，本例模型的曲面形状由两个不同心的椭圆构成，辅以圆弧和局部切割成形，对于 SketchUp 来说，创建类似的圆弧造型不是太复杂，用 SketchUp 原生的工具就可以轻松完成。

1. 大致确定建模对象的尺寸

总的思路是：以图片上某些已知尺寸的参照物为依据，用 SketchUp 的小皮尺工具把图片调整到尽量接近真实的现场尺寸，然后从图片量取建模用的尺寸。操作步骤如下。

(1) 把两幅参考图片“拉入” SketchUp 工作窗口，调整到一样大小，如图 2.4.4 所示，这里假设两幅图片有相同的比例。应注意图 2.4.4 ①处有个白色的人形，可以用此人形的身高来作参照尺寸。

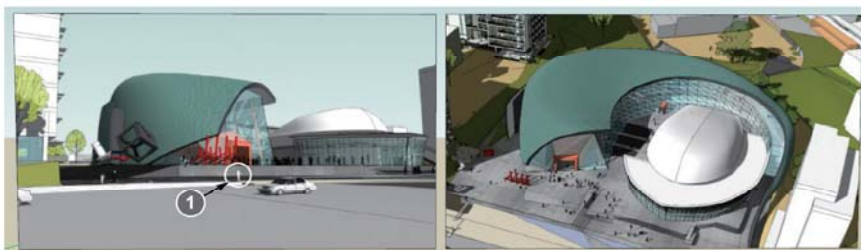


图 2.4.4 并排放置的图片与其上的参照物

(2) 尽量放大图片，如图 2.4.5 ①所示，直至能够比较准确地用小皮尺工具量取人形的身高，从键盘输入男性的大致身高：1700mm，按 Enter 键并且确定改变模型整体大小后，两幅图片即可调整到接近真实的现场尺寸，估计误差在 1% ~ 2% 的范围内。

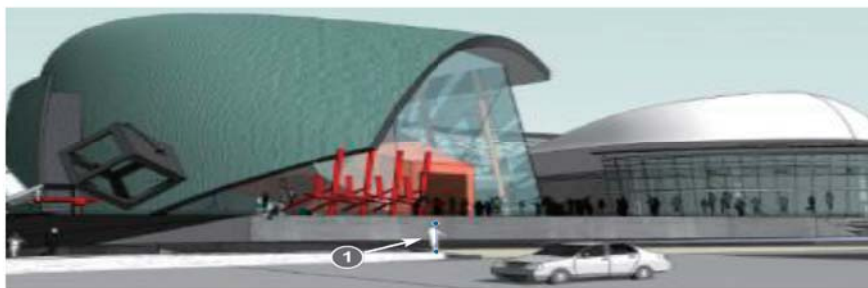


图 2.4.5 用小皮尺工具缩放参照物到合理尺寸

(3) 然后就可以量取图片上的相关尺寸，记下来建模时使用，如图 2.4.6 所示。



图 2.4.6 量取尺寸



2. 绘制放样用路径和放样截面

(1) 在地面上画一个大圆, 如图 2.4.7 ①所示, 半径为 $35676/2$, 这个圆形的一部分将作为放样路径。

(2) 根据尺寸画一个小圆, 如图 2.4.7 ②所示, 半径为 $22396/2$, 将用它来切割出内圆的形状。

(3) 根据造型在大圆与小圆间画两条短直线, 以确定放样的起止位置, 如图 2.4.7 ③④所示。

(4) 建立一个临时的立面, 在该立面上作图, 画出放样的截面, 如图 2.4.7 ⑤所示。

(5) 偏移 400mm, 删除废线面后形成放样截面, 如图 2.4.7 ⑥所示。

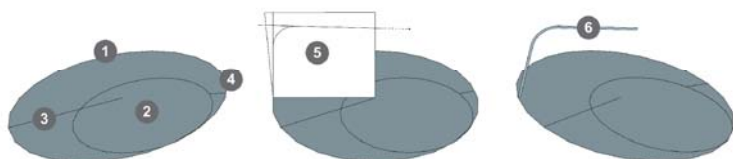


图 2.4.7 路径跟随准备

(6) 用路径跟随工具, 以大圆规划出的部分为路径完成放样后如图 2.4.8 ①所示。

(7) 用推拉工具拉出地面上的小圆, 如图 2.4.8 ②所示, 准备做模型交错。

(8) 模型交错后, 删除多余的废线面后如图 2.4.8 ③所示。

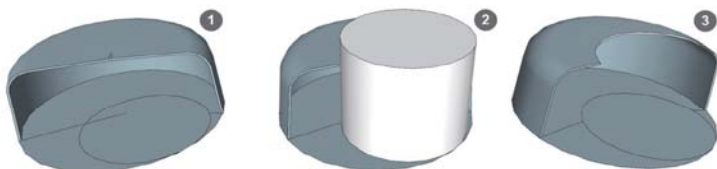


图 2.4.8 切割出内圆

3. 切割掉曲面对象的一个角

(1) 在模型端部建立一临时立面, 根据造型设想画出斜线, 如图 2.4.9 ①所示。

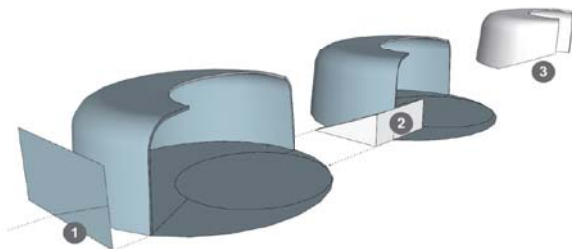


图 2.4.9 切割掉一个角

(2) 用推拉工具拉出这个三角形后做模型交错, 如图 2.4.9 ②所示。

(3) 删除多余的废线面后, 建模任务完成, 成品如图 2.4.9 ③所示。

4. 小结

(1) 图 2.4.10 所示为模型与原图片的对照。可见相似度尚可。

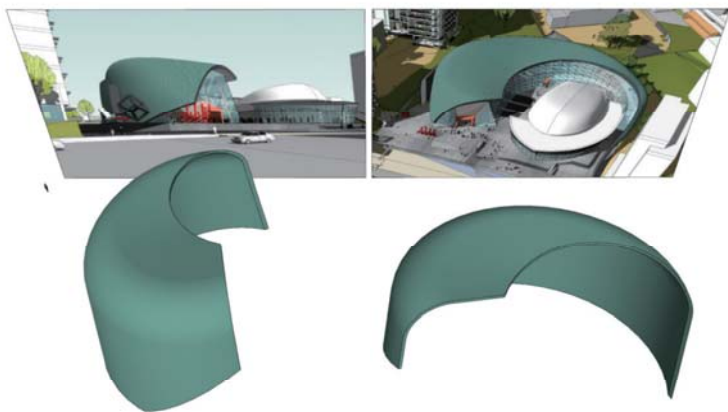


图 2.4.10 相似度比较

(2) 本例中用到的 SketchUp 工具为缩放工具、画圆工具、直线工具、圆弧工具、偏移工具、路径跟随工具; 还用了照片导入、炸开与重新编组、模型交错和删除以及柔化等功能, 以上全部为 SketchUp 自带的基本工具(功能), 未借助任何插件。

(3) 用外来图片作为参考创建模型是经常要用到的技能: 要善于利用图像上可作为尺寸参考的对象, 譬如本例中的人形, 或已知大概尺寸的门窗、台阶的高度, 围墙的高, 瓷砖、石材的尺寸以及所有能提供尺寸的图上元素等。

(4) 要善于抓住对象的形状特征, 估计出各部分的比例、角度、圆弧等重要的建模参数……这些技能对于接受过素描写生训练的 SketchUp 用户不会有太大困难, 如果没有接受过相关训练, 只能多做练习积累经验。

2.5 模型交错功能详述

大多数 SketchUp 用户对于模型交错并不陌生, 在本章前面 4 节的实例中, 曾经两次使用过模型交错功能。因为 SketchUp 的模型交错没有工具图标, 只有在条件符合时才允许做这个操作, 所以只能说它是 SketchUp 中的一项功能, 而不是“工具”。虽然模型交错没有工具图标, 但丝毫不影响它成为 SketchUp 建模过程中的一个重要造型手段。

为说明 SketchUp 的模型交错功能, 还要提到另一个老牌 3D 建模软件——3ds Max。在 3ds Max 中有个重要的造型手段, 叫作“布尔”工具。“布尔”是一种逻辑运算方式的名称。



它是数学的一个分支——“逻辑代数”，也叫作“布尔代数”，由英国数学家乔治·布尔于1849年创立。在布尔代数中，所有可能出现的数字只有两个，即0和1；基本的运算只有“与”“或”“非”3种。

3ds Max 中的布尔工具所进行的操作和操作结果，跟布尔运算有相似之处，所以借用了“布尔”这个名词。3ds Max 的布尔工具可以把两个或更多的三维实体，通过布尔运算的并集、交集和差集，生成新的实体。这些并集、交集和差集，正是布尔代数里面的“与、或、非”。SketchUp 从 8.0 版开始，就拥有了跟 3ds Max 功能相同的布尔工具，在 SketchUp 中，它们统称为“实体工具”，要在后面的篇幅里详细讨论它。

SketchUp 8.0 以后的版本虽然都有了专门进行布尔操作的实体工具，但因为实体工具对参与运算的几何体要求太高，操作不太直观而少有人用。在“实体工具”诞生之前，“模型交错”是 SketchUp 一直都有的造型功能；模型交错虽然没有 3ds Max 中的布尔工具强大，但也可以实现相似的功能，并且比 3ds Max 的布尔功能更直观。所以，直到现在，“模型交错”仍然是 SketchUp 一个非常高效、实用、直观的造型工具。

众所周知，在 SketchUp 中，绘图和造型工具都很简单；只使用不多的绘图工具和造型工具，能够创建的模型形状就非常有限；而如果善于用模型交错功能，就可以创作出更多、更复杂的几何体。

1. 模型交错的基本概念

图 2.5.1 的左侧有两个不同的几何体，把它们移动重叠在一起后，两者相交的位置没有边线，如图 2.5.1 (b) 中的箭头所示；模型交错可以对重叠的不同几何体在相交处创作出新的边线和面，用这种办法创作出新的几何体。两者相交处出现边线是模型交错已经成功的标志，如图 2.5.1 (c) 中的箭头所指处。分解模型交错后的几何体，可见已经变成了 3 个新的几何体，如图 2.5.1 右侧所示。

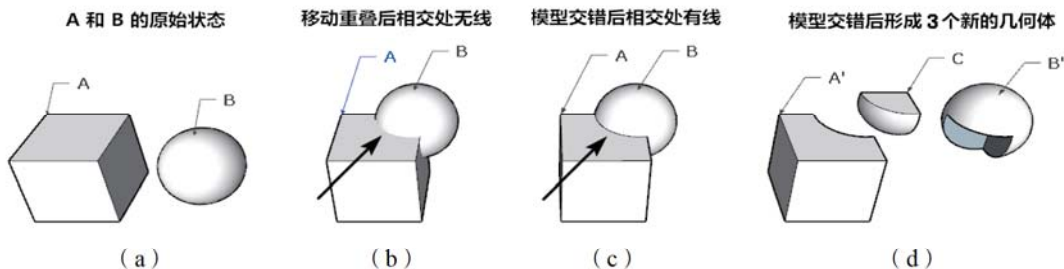


图 2.5.1 模型交错

2. 模型交错的注意事项

(1) 如果参与模型交错的是群组或组件，必须先炸开（模型交错功能对群组与组件无效）。

（2）模型交错的操作：全选参与交错的几何体并右击，在弹出的快捷菜单中选择“模型交错”→“只对选择对象交错”命令，如图 2.5.2 所示。



图 2.5.2 永远只选下面的“只对选择对象交错”命令

3. 对上面两点的补充说明

（1）为什么要炸开后才可以做模型交错？

因为只有把它们炸开后，才可以完成后续的模型交错的操作。这是 SketchUp 的模型交错功能提出的要求，请记住：只有把对象炸开后才可以进行模型交错。

（2）为什么要选择右键快捷菜单里的“只对选择的对象交错”命令？

作者要给你一个忠告：请你永远选择右键快捷菜单中下面的“只对选择对象交错”；永远不要选择上面那个“模型交错”，并且要养成习惯。

为什么一定要这么做？因为图 2.5.2 所示菜单上面的“模型交错”命令是对 SketchUp 里的所有的实体做模型交错。而事实上，我们几乎永远不需要对模型中的所有实体都来一次模型交错。如果选择了第一个命令，就会对模型中并不需要交错的部分也进行了交错操作，造成的结果，当时可能难以发现，但是到了某个特定时刻麻烦就来了，还有可能是灾难性的。

另外，如果当前的模型很大，你又选择了对模型里所有实体做模型交错，这就需要消耗大量计算机软、硬件资源，有很大可能会造成死机或者 SketchUp 崩溃退出，当然也可能造成损失。所以，要再重复一遍忠告：“任何时候，任何情况下，都不要选择图 2.5.2 中右键快捷菜单上面的‘模型交错’命令，一定不要有意或无意试图对模型里所有的实体进行交错。”

4. 模型交错与布尔运算

模型交错功能，除了条件成熟后在右键快捷菜单中可以找到外，在“编辑”菜单中也有，条件不符合的时候，它是灰色的不可用状态，一旦条件满足，它就变成可使用的状态了，使用方法是一样的。



图 2.5.3 所示为重复上面的操作, 让我们好好看看得到了些什么。现在得到了 4 种不同的组合, 如把立方体看成实体 A, 球体看成实体 B, 则有以下结果:

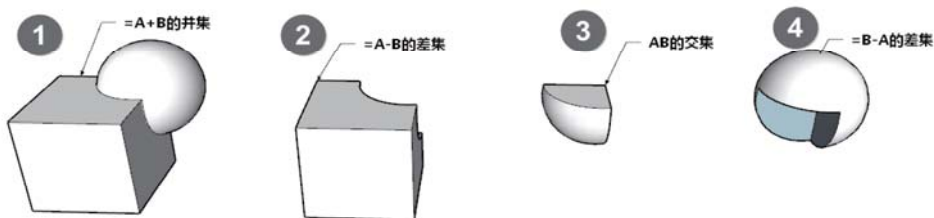


图 2.5.3 模型交错的 4 种结果

图 2.5.3 ①所示为实体 A 和实体 B 并在一起, 相当于布尔运算的并集。

图 2.5.3 ②所示为从实体 A 减去实体 B 的差。

图 2.5.3 ④与图 2.5.3 ②相反, 是实体 B 减去实体 A 的差, 它们两个相当于布尔运算的差集。

图 2.5.3 ③所示为实体 A 和实体 B 重叠相交的部分, 所以是布尔运算的交集。

关于这方面的问题, 在后面还有详细的讨论。

5. “剖面工具”的切割功能

“模型交错”时常被用来切割模型里的几何体, 试验证明, 如果参与切割的线面数量较多, 形状较繁杂, 模型交错就可能不够彻底, 有经验的 SketchUp 用户会重复操作多次来避免这种问题发生。建模实践中可以发现, “剖面工具”可以用于切割几何体, 并且比较可靠, 举例如下。

图 2.5.4 所示为一个售楼部, 其屋面是一个斜坡。

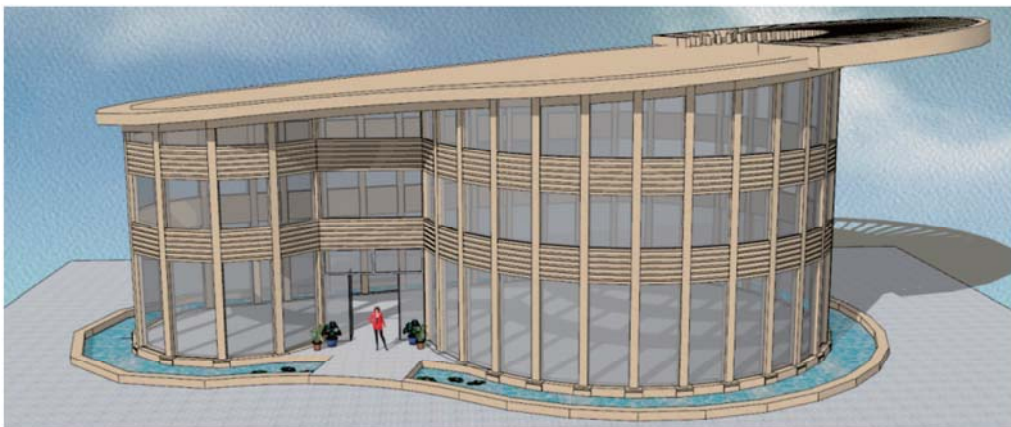


图 2.5.4 某售楼部 (倾斜的屋面)

图 2.5.5 所示为已完成的墙体, 要切割出倾斜的形状, 通常用模型交错, 较麻烦且不可靠。

图 2.5.6 所示为用剖面工具创建一个剖切并移动、旋转到合适的位置。

图 2.5.6 所示为移动旋转到位后, 右击剖切, 在弹出快捷菜单中选择“从剖面创建群组”

命令。

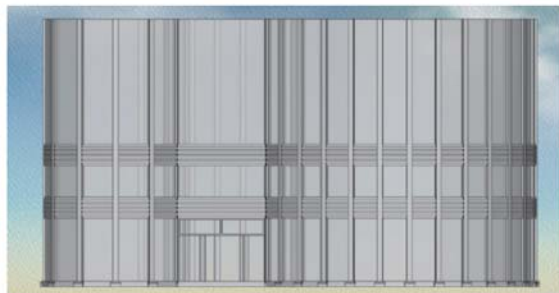


图 2.5.5 已完成的墙体

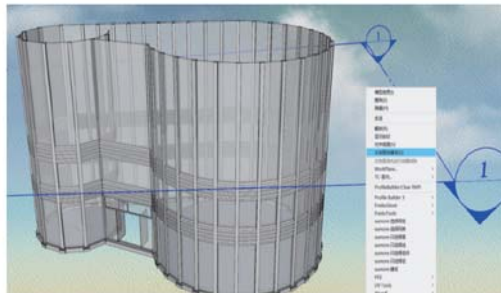


图 2.5.6 设置一个剖切

图 2.5.7 所示为剖面创建的群组，右击该群组，在弹出的快捷菜单中选择“炸开”命令。
图 2.5.8 所示为炸开该群组后，墙体分成上、下两个部分。

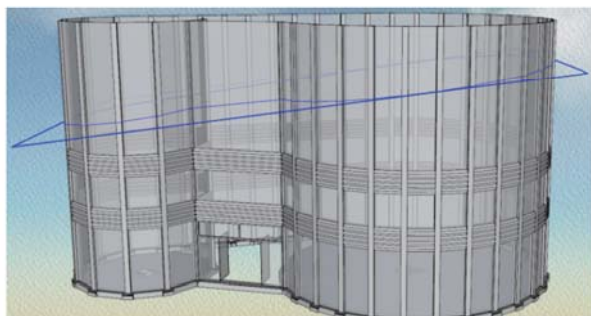


图 2.5.7 从剖面创建群组

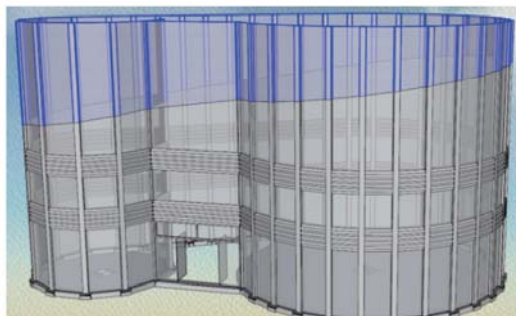


图 2.5.8 炸开该群组后

图 2.5.9 所示为删除上半截后的结果，此时切割完成。

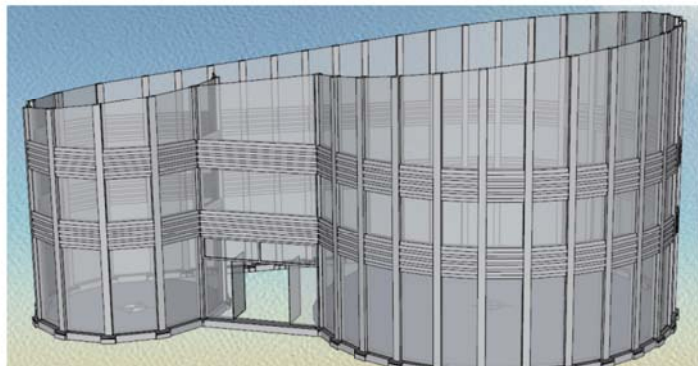


图 2.5.9 一次删除全部废线面后



6. 小结

- (1) 善用模型交错来配合建模，可创建用其他方法不能完成的复杂几何体。
- (2) 参与模型交错的所有实体都不能是群组或组件，如果是，则需要炸开后交错。
- (3) 对群组和组件做模型交错，可以在被动一方上产生相交线。
- (4) 任何情况下都选择“只对选择对象交错”，千万不要试图对整个模型做交错。
- (5) 用剖面工具代替模型交错做平面切割，方便且可靠。

2.6 跟随交错实例（个性花钵）

“花钵”作为一种设计小品，在室内外环艺设计、景观设计等行业有着一定的实用地位，它又是最少受标准与规程约束，最能随设计师天马行空、异想天开、发挥创造力的练习题材。在这本讨论曲面建模的书里，会用几个不同的花钵做标本讨论不同的曲面建模思路与技巧。

本节要讨论的“个性花钵”于2010年10月始以系列教程之一的形式发布在某SketchUp专业论坛上，曾引起热烈讨论，并纠正了一些人以为SketchUp的曲面一定要用插件的偏见。现在就尝试用“路径跟随”与“模型交错”这两个重要的造型工具结合起来创建如图2.6.1所示的花钵。



图 2.6.1 个性花钵

下面按操作顺序截图说明建模过程。

如图2.6.2所示，建立一垂直辅助面，创建辅助线，绘制放样截面。

图2.6.3所示为完成旋转放样后的模型。

如图2.6.4所示的这一步比较重要，可能需要练习几次才能熟练运用。

- (1) 用剖面工具生成一个“剖切”，移动旋转到图示位置。
- (2) 右击“剖切”，在弹出的快捷菜单中选择“从剖面创建群组”命令，在对象上新增一圈边线。
- (3) 删除“剖切工具”后，单击对象表面新出现的边线，右击并在弹出的快捷菜单中选择“炸开”命令，对象分成上、下两半。

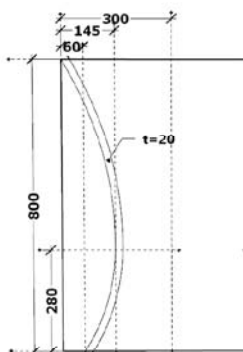


图 2.6.2 规划准备



图 2.6.3 循边放样

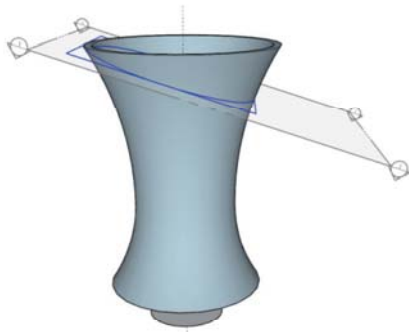


图 2.6.4 从剖面创建群组

图 2.6.5 所示为删除对象上面的部分后,形成花钵的内层,如图 2.6.5 左侧所示。现在复制一个到旁边留作花钵的内层。对底部用剖面工具做同样的切割操作,结果如图 2.6.5 右侧所示。

图 2.6.6 所示为用缩放工具把右侧对象压扁到合适的高度,形成花钵的外层。

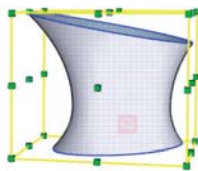
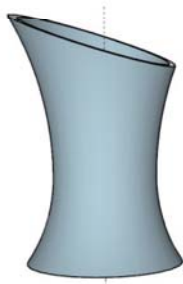
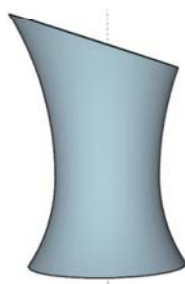


图 2.6.5 炸开后删除废线面复制一个副本

图 2.6.6 缩放工具压扁

图 2.6.7 所示为再用缩放工具做中心缩放,把花钵外层放大到合适的大小,以便套在内层上。

图 2.6.8 所示为外层创建群组,移动到内、外两层中心线对齐,外层还要旋转到与内层的顶部平行。

最后如图 2.6.9 所示,还要把切割的面封起来,把封面产生的平面向下复制形成“泥土”,这些局部操作的范围虽然很小,但是直接影响模型的整体品质与观感,有一定难度,马虎不得。

设计这样一个花钵,需要发挥空间想象力和创造力,做出来的模型好不好看,能不能被大多数人接受很考验你的美学修养,所以做好这个模型并不容易,需要注意以下几点:

- (1) 在辅助面上做规划,尤其是那条圆弧,差一点的结果会有天壤之别;
- (2) 用剖面工具切割几何体,做移动旋转较容易控制,但切割处需要封面;
- (3) 始终保留中心线,它是内、外两层准确套在一起的必备条件;
- (4) 外层的高度与直径,跟内层的相对位置与角度也要仔细对应;
- (5) 内、外两层可以用深浅不同颜色的大理石材质。

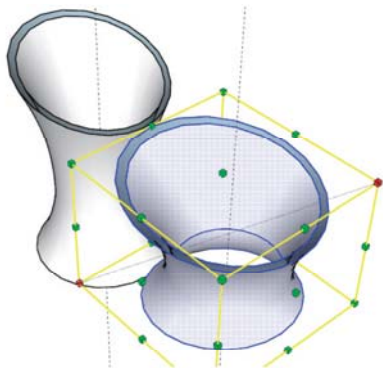


图 2.6.7 中心缩放扩大



图 2.6.8 组装并生成泥土



图 2.6.9 赋予材质与栽种

2.7 投影交错实例（传统家具脚）

在本系列教材中的《SketchUp 材质系统精讲》里出现过如图 2.7.1 所示的传统八仙桌，不过每次出现的目的都不同，这一次是以“曲面造型”的题材用它来做案例。

如果把如图 2.7.1 所示的桌子腿分解开来（简化榫卯结构），它的形状就如图 2.7.2 和图 2.7.3 所示。仔细观察就会发现，桌腿的顶部与底部有多处圆弧曲面的形状，虽然范围不算很大，但是不掌握点窍门，想要把这部分做好会遇到困难。



图 2.7.1 传统八仙桌与长凳

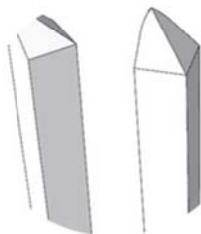


图 2.7.2 桌腿顶部



图 2.7.3 桌腿底部

本节主要介绍一种叫作“投影交错”的曲面建模技巧，这种方法很简单，容易掌握，但能解决建模过程中遇到的很多难题，下面就用这种方法分别创建两种带有曲面的桌子腿，一