

HZ BOOKS
华章科技

资深3D打印工程师撰写，系统讲解Autodesk Meshmixer建模的基本理论、方法和最佳实践

从基础知识入手，全面讲解该软件各功能模块的操作方法，以及命令参数及复选项的作用，同时辅以大量图例



3D打印
技术丛书



3D打印建模

Autodesk Meshmixer实用基础教程

陈启成 编著



机械工业出版社
China Machine Press



3D打印
技术丛书

3D打印建模

Autodesk Meshmixer实用基础教程

陈启成 编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

3D 打印建模: Autodesk Meshmixer 实用基础教程 / 陈启成编著. —北京: 机械工业出版社, 2016.6

(3D 打印技术丛书)

ISBN 978-7-111-53864-6

I. 3… II. 陈… III. 立体印刷 - 印刷术 - 教材 IV. TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 114350 号

3D 打印建模

Autodesk Meshmixer 实用基础教程

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 陈佳媛

印刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

开本: 186mm × 240mm 1/16

书号: ISBN 978-7-111-53864-6

责任校对: 殷 虹

版次: 2016 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

印张: 22.5

定价: 59.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

投稿热线: (010) 88379604

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东



Autodesk (欧特克) CEO Carl Bass 在 2015 CES 国际消费电子展上, 花半个多小时讲解了有关 3D 打印、Spark、Ember 和个人制造的内容, 足见该公司对 3D 打印领域的重视程度。该公司推出的免费 Autodesk 123D 系列套件中, 软件种类不断增加, 既有软件功能也大大增强。本书所讲解的 Autodesk Meshmixer, 就是其中主要的多边形建模软件。

Autodesk Meshmixer 在国外 3D 打印领域已得到广泛应用, 它不光具有独到的融合多边形网格边界的能力, 可以任意切割、拼接网格模型, 进行混搭建模, 还具有雕刻模型的功能。同时, 它能够自动或手动添加树状支撑结构, 解决了 3D 打印过程中加支撑的问题 (打印机附带的切片软件, 通常加的是线性支撑), 可以避免过度添加支撑, 从而节省一些材料。笔者认为, Meshmixer 是基于多边形建模的、具备混搭建模和雕刻能力的、功能强大的软件, 正在成为 3D 打印领域必备的工具之一。

目前, 全国各地都在大力落实《国家增材制造产业发展推进计划 (2015-2016 年)》, 组织实施学校增材制造技术普及工程, 3D 打印机逐渐进入校园。学校中也开设了相应的益智和创新教育课程。笔者接触的很多中小学生都已使用过 3D 打印机, 3D 打印机的普及速度之快已超出了想象。也有很多学校利用 123D Design 开展教学活动, 取得了良好的社会效益。不过, 由于国内迄今还没有一本关于 Meshmixer 的完整教程, 用 Meshmixer 进行教学活动的学校还比较少。笔者认为 Meshmixer 中的混搭建模功能非常适合中小学生学习使用, 它能调动孩子们的学习积极性, 毕竟任意拼接出有创意的模型是非常有趣的事情。再辅以雕刻工具, 能更好地帮助孩子们把想象变为现实!

当然, Meshmixer 绝不是小孩子的玩具, 也适合 3D 打印爱好者使用。它具备完整的检查、修复模型功能, 可以修复 3D 扫描的模型文件。遵循多边形建模的规则, 可以构建出任何想要的模型。目前, Meshmixer 和 123D Design 已经可以相互传递模型, 真可谓珠联璧合, 这样联合使用功能会更加强大。

本书详细介绍了 Meshmixer 的各功能模块的用法，也一一介绍了单个命令中各项参数和复选项的作用。采用中英文对照的方式，对菜单和工具栏中的命令进行解释，辅以大量的图例，可以使读者更好地理解软件的功能。作为一本基础教程，且限于篇幅，本书仅提供了基本的建模实例，没有涉及更复杂的应用，如处理 3D 扫描模型等。

在本书的编写过程中，笔者得到了软件开发者 Ryan Schmidt 的指点，以及 Autodesk 中国区负责教育人士的大力支持，在此深表谢意！

由于作者的水平有限，且时间仓促，特别是软件版本日新月异，升级频繁，书中难免有不妥和疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

陈启成

2016 年 4 月

前言

第 1 章 Meshmixer 简介 1

- 1.1 3D 建模软件中的 Mesh 3
- 1.2 构成 3D 网格的单个多边形 4
- 1.3 多边形的法线 5
- 1.4 Meshmixer 在 3D 打印领域的作用 6
- 1.5 3D 打印建模的注意事项 7
- 1.6 小结 8

第 2 章 Meshmixer 软件界面和功能 9

- 2.1 下载 Meshmixer 及安装过程 9
- 2.2 Meshmixer 界面 11
 - 2.2.1 快速任务按钮功能简介 12
 - 2.2.2 菜单栏 16
- 2.3 小结 28

第 3 章 工具栏简介及混搭工具用法 29

- 3.1 工具栏简介 29
- 3.2 混搭工具 30

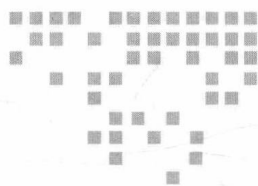
- 3.2.1 实体模型与空心模型 30
- 3.2.2 混搭实体部件 32
- 3.2.3 混搭开口部件 34
- 3.2.4 视图导航 35
- 3.2.5 对模型的变换操作 37
- 3.2.6 混搭开口部件时操纵器的功能 43
- 3.2.7 混搭部件的属性面板介绍 45
- 3.2.8 快捷菜单 55
- 3.3 混搭建模实例 61
- 3.4 小结 68

第 4 章 选择工具 69

- 4.1 针对整个对象的选择方法 69
 - 4.1.1 直接选择法 69
 - 4.1.2 使用对象浏览器选择对象 69
- 4.2 工具栏中的选择工具 71
 - 4.2.1 两种选择方式 71
 - 4.2.2 修改 (Modify) 76
 - 4.2.3 局部编辑 (Edit) 90
 - 4.2.4 转换 (Convert To) 130
 - 4.2.5 变形 (Deform) 134

4.3 建模实例	147	6.3.1 表面笔刷参数的作用	275
4.3.1 Meshmixer 多边形建模基础	147	6.3.2 表面笔刷的功能简介	275
4.3.2 多边形建模实例	157	6.3.3 镂空功能	279
4.4 小结	168	6.4 雕刻实例	282
第5章 整体编辑工具	169	6.5 小结	290
5.1 编辑菜单命令解析	169	第7章 图章工具	291
5.1.1 镜像	169	7.1 图章工具的使用方法	291
5.1.2 复制	170	7.2 如何制作图章的图形	294
5.1.3 变换	171	7.3 利用外部程序制作图章的图形	296
5.1.4 建立轴心点	172	7.4 小结	297
5.1.5 对齐	184	第8章 分析工具	298
5.1.6 平面切割	195	8.1 分析工具中的命令解析	298
5.1.7 封闭缝隙	196	8.1.1 检查器	298
5.1.8 生成面组	196	8.1.2 单位/尺寸	302
5.1.9 实体化对象	198	8.1.3 测量	304
5.1.10 挖空对象	204	8.1.4 厚度	308
5.1.11 制作花样	207	8.1.5 强度	308
5.1.12 制作切片	218	8.1.6 稳定性	309
5.1.13 分离对象	219	8.1.7 定位	310
5.1.14 添加管路	221	8.1.8 布局/包装	311
5.2 选择多个对象时的操作命令	226	8.1.9 切片	313
5.3 建模实例	233	8.2 为模型添加支撑结构	314
5.4 小结	240	8.2.1 自动生成支撑结构	315
第6章 雕刻工具	241	8.2.2 手动添加支撑	323
6.1 初识雕刻工具	242	8.2.3 混合添加支撑	325
6.2 体积笔刷	244	8.3 小结	326
6.2.1 体积笔刷参数的作用	244	第9章 着色	327
6.2.2 体积笔刷的功能简介	254	9.1 着色简介	327
6.3 表面笔刷	275	9.2 小结	330

第 10 章 输出文件与 3D 打印	331	11.2 模型相互传递的流程	338
10.1 输出文件	331	11.3 小结	340
10.2 3D 打印模型	332	附录 A Meshmixer 中的选项	341
10.3 小结	336	附录 B Meshmixer 快捷键表	344
第 11 章 123D Design 与 Meshmixer 的完美结合	337	后记	348
11.1 为什么会用到 123D Design	337		



Meshmixer 简介

Meshmixer 软件是由 Autodesk (欧特克) 研究中心的 Ryan Schmidt (见图 1-1) 开发的, Meshmixer 03 版本于 2011 年 3 月发布。2015 年 1 月 30 日, Autodesk 公司宣布, 将 Meshmixer 的最新版本——Meshmixer 2.8 并入其针对普通消费者的 3D 设计和建模软件套件 Autodesk 123D 中。Autodesk 123D 包括 123D Design、123D Make、123D Sculpt+、123D Catch、123D Circuits、Tinkercad 和 Tinkerplay 等应用软件, 其主要功能是帮助普通用户使用各种手段完成 3D 建模。合并之后, Meshmixer 2.8 的用户可以在软件中直接打开或保存 123D 项目。本教程讲解了最新版本 Meshmixer 2.9.4 的功能。

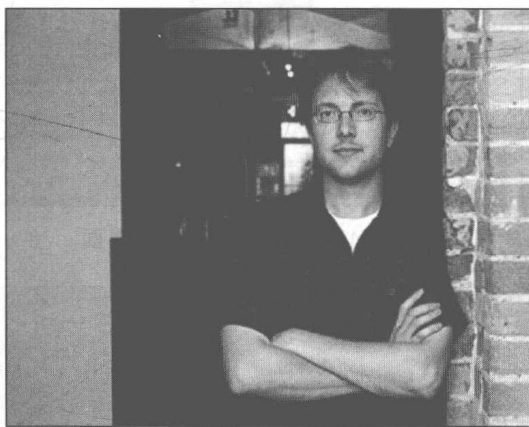


图 1-1 Ryan Schmidt

Meshmixer 与其他 Autodesk 123D 产品一样, 也是免费使用的。它给了设计者很大的自由度, 可以完美地导入、编辑、修改和创建各种 3D 模型。在 Meshmixer 的官网 (<http://www.123dapp.com/meshmixer>) 上介绍该软件时用了 Mashup 这个词汇, Mashup 是当今网络上新出现的一种网络现象, 即使没有任何编程技能的普通用户也可以利用它自己编写程序。Autodesk 宣传 Meshmixer 时提出, 希望在 3D 设计领域中, 普通人也能够混搭创建自己的 3D 模型。Meshmixer 是一款易于使用的具有混搭模型、多边形建模、雕刻、模型清理等功能的软件, 非常适合初学者使用。

Meshmixer 软件的目的是:

- ❑ 为 3D 初学者、3D 打印爱好者等群体提供简单易用的工具。
- ❑ 为艺术家提供制作精细网格的软件，并将它纳入制作流程。
- ❑ 为每一位想要处理网格（特别是 3D 扫描的网格）模型的用户提供网格清理和修复工具。

这个软件的建模思路与常规的 CG 类建模软件不太相同，它主要是通过组合不同的几何模型来创建新模型，类似于堆积木。说到这里，有必要提一下 GroBoto 软件（见图 1-2a），它也是使用了几何形体的混合技术。Braid Art Labs 推出的 3D 建模动画应用软件 GroBoto 可以创建复杂的动画效果，且易于使用，它的目标群体为 10 岁以上的人群。通过 GroBoto 可以快速且直观地在几分钟里创建出 3D 模型，完全支持 MAC 和 PC 作业平台。现在 Modo 中有个 MeshFusion 插件，就是基于前面的 GroBoto 技术，如图 1-2b 所示。它消除了复杂的挑战和令人沮丧的布尔操作的过程，通过加减对象来创建高品质的细分曲面（Sub-D）模型，使生产的高质量模型变得更加一致和准确，如图 1-3 所示。这种革命性的新建模型插件为 Modo 开辟了一个新的世界，为艺术家和设计师提供了发挥创造性进行建模的能力。

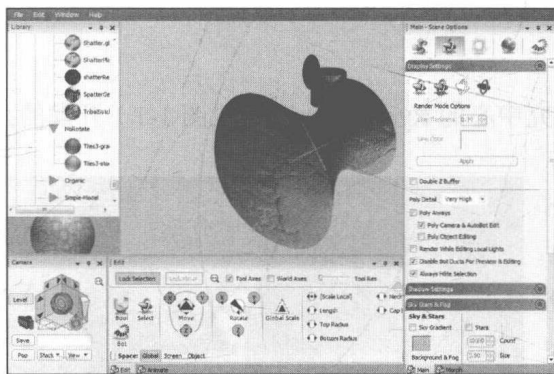


图 1-2a GroBoto 的软件界面

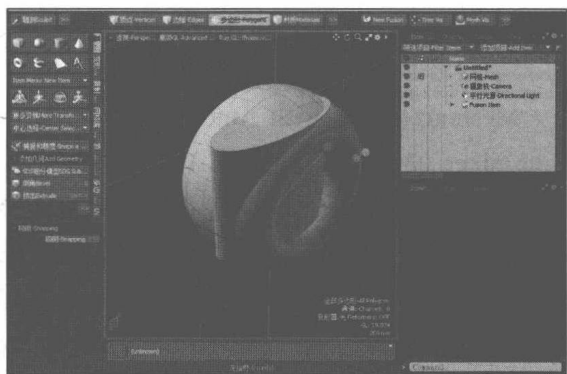


图 1-2b Modo 中 MeshFusion 的界面

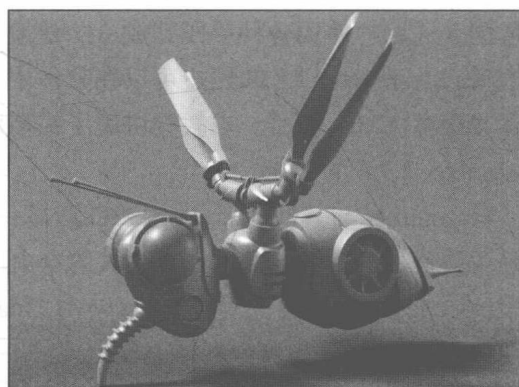
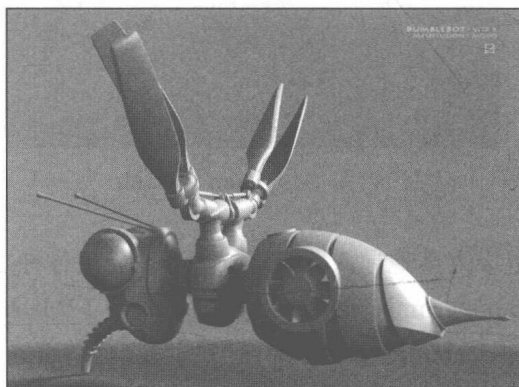


图 1-3 MeshFusion 创建的模型

Modo 是比较专业的软件，我们不去探讨它，只需要明白一点，在 3D 设计软件中，通过混合几何模型来创建新的模型也是一种建模手段。

1.1 3D 建模软件中的 Mesh

Meshmixer 软件的目标人群也是初学者，通过混搭几何形体构建出新的模型。我们先来了解一下 3D 建模软件中的 Mesh 的含义。

Mesh 的中文有网孔、网状物的含义。在 3D 设计领域，有一类 3D 建模软件采用的是多边形建模方式，主要应用于影视、游戏等视觉传达领域，也就是通常所说的 CG 行业。使用这类 3D 软件创建的模型，是由很多小的多边形连成网格而构成的，于是有了 3D 网格的概念。构成这些 3D 网格的多边形可以是三角形（早期的建模软件用的是三角形的网格）、四边形或者多边形（大于四边形，一些专业 3D 设计软件中可以使用多边形 N-gon），这些技术都是随着计算机图形学的不断发展而不断更新的。

说了这么多，初学者还是会感到困惑。我们下面先从 2D 设计软件入手，或许有助于理解这一概念。

在 Illustrator 中绘制了一个苹果的大致形状，然后使用网格工具为苹果的轮廓图形添加网格，如图 1-4 所示。这样就可以选择构成网格的不同的顶点，然后填充不同的颜色。可以看出，图 1-4 中 4 个顶点构成了一个四边形。这是 Mesh（网格）在平面图形中的网格含义。

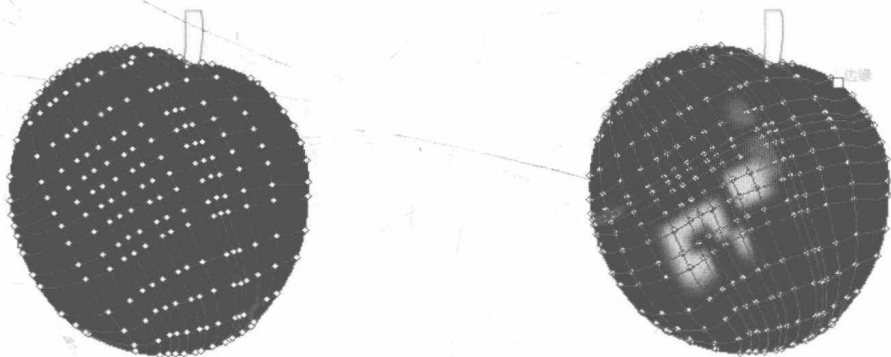


图 1-4 平面图形中的网格

在采用多边形建模方式的 3D 设计软件中建一个模，例如一个球体，如图 1-5 所示。可以看到，3D 网格（3D Mesh）是弯曲的，包络成一个球形。

这样看起来就比较直观了，相信大家都能够理解这一点。在多边形建模软件中，所设计的 3D 模型都是由 3D 网格构成的。这种 3D 网格没有厚度，与实体建模和基于粘土的雕刻软件建模方式是不同的。具体请参考作者编写的另一本书《3D 打印建模：Autodesk 123D Design 详解与实践》^①中的相关内容，这里不多解释。

日常生活中也有能够帮助理解 3D 网格模型的例子。比如制作一个足球，是将球皮裁成多个五边形，然后缝合起来，那么，整个球皮就相当于 3D 网格模型，它是由多个五边形构

① 此书已由机械工业出版社于 2015 年 6 月出版，书号是 ISBN978-7-111-49992-3。——编辑注

成的, 如图 1-6 所示。

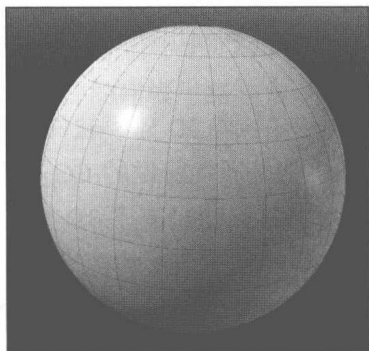


图 1-5 3D 球体由弯曲的网格构成

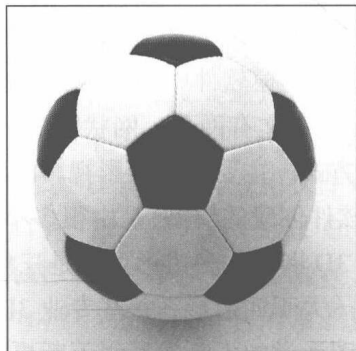


图 1-6 由多个五边形构成的足球

1.2 构成 3D 网络的单个多边形

Mesh 是由顶点和成千上万个多边形构成的, 这是最早出现的 3D 模型类型。我们进一步来了解其中单个的多边形。

早期的 3D 设计软件采用的是三角形网格, 如现在 3D 打印通用的 STL 格式, 是由 3D Systems 公司于 1988 年制定的一个接口协议, 它是一种为快速原型制造技术服务的 3D 图形文件格式, STL 文件由多个三角形网格组成。直到 3dsMax 4 版本, 3dsMax 才可以使用真正的多边形网格, 3dsMax 4 是 2000 年发行的。下面我们就看看最基本的三角形网格 (triangle)。

在平面图形中, 3 个不同位置的点确定了一个三角形。在 3D 空间里, 一个三角面同样也是由 3 个不同位置的点构成的。每一个点都有自己的 X、Y、Z 坐标。两个点连接起来, 构成一条线, 3 个点两两相连, 就构成了一个三角面, 如图 1-7 所示。

我们知道, 多边形中边数最少的就是三角形, 大量的三角面共用顶点和边线, 就构成了一个 3D 模型的形状。在图 1-8 中, 为了清楚地表达三角形网格是如何构成球体的, 网格的面数选用了非常小的数值。你会问, 这是球体吗?

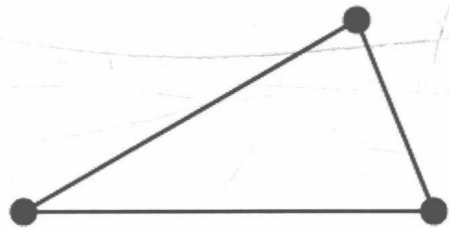


图 1-7 3D 空间的 3 个点构成一个三角形

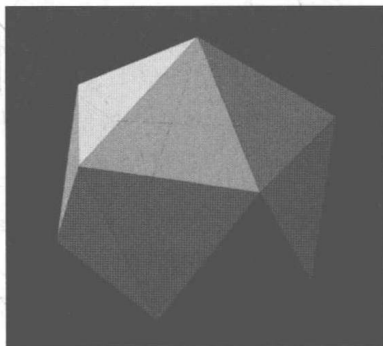


图 1-8 面数极少的 3D 球体

增加三角形的面数，看起来就像一个球体啦，如图 1-9 所示。

现在应该明白了，3D 模型是由 3D 网格构成的。成千上万个多边形构成了 3D 网格，这些多边形可以是三角形、四边形或者更多边数的多边形。我们常接触到的是三角形和四边形（见图 1-10），至于边数更多的多边形是部分 3D 建模软件才支持的功能，我们不解释它。

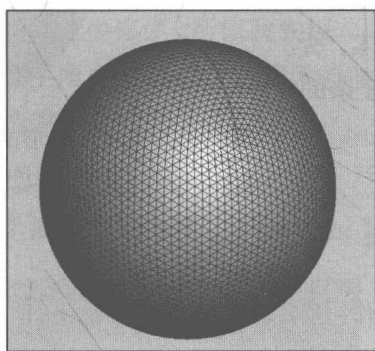


图 1-9 大量的三角形网格构成的 3D 球体

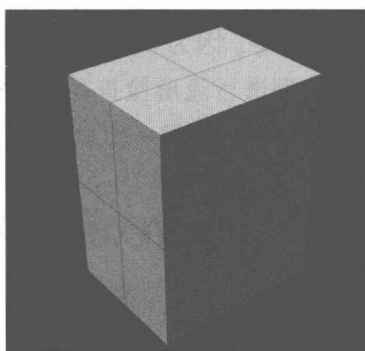


图 1-10 由四边形构成的立方体模型

1.3 多边形的法线

3D 网格中的顶点还包含了许多信息，这对于初学者来说是无关紧要的。但一个概念要清楚，就是构成 3D 网格的多边形是有正反面的，也就是它的法线方向，如图 1-11 所示。法线是个数学概念，曲面上某一点的法线指的是经过这一点并且与该点切平面垂直的那条直线（即向量）。

这有些难以理解，举个例子。在日常饮食中，吃过一种水果叫刺梨，它浑身都是刺，这些刺就好比球体的法线，都是向外生长的，如图 1-12 所示。

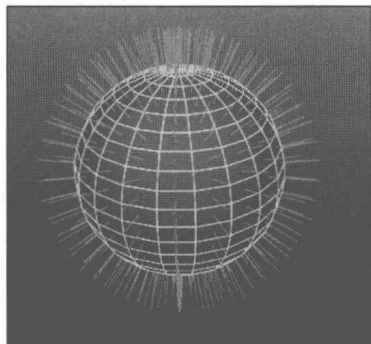


图 1-11 球体的法线方向向外

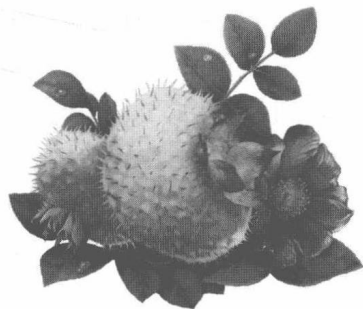


图 1-12 刺梨

为了能够更清晰地理解法线的方向，我们绘制一个曲面示意图，把它的里面和外面分别

涂上不同的颜色,就会有更深刻的认识,如图 1-13 所示。记住这一点:3D 网格中的多边形是有正反面的。

在 polygon 建模软件中,有时候多边形的面朝向是反的,这是错误的,需要及时纠正,否则会在后期出现问题。

3D 网格还存在一个问题:多边形网格的拓扑结构要合理。在 polygon 建模中,常会因为布线不合理而产生小问题,比如打结、破面等。因为 3D 打印最终要形成完整的实体,所以要对网格模型进行流形检查等。网格拓扑结构是个复杂的问题,作为初学者,了解一点就可以了。

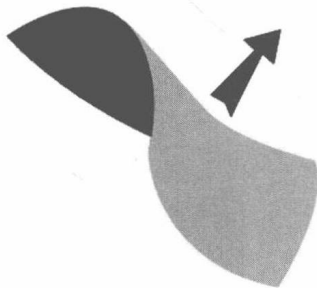


图 1-13 单个多边形的正反面

1.4 Meshmixer 在 3D 打印领域的作用

Meshmixer 应用于 3D 打印领域,能够完成以下工作:

- 可以导入不同的模型,通过混搭手段创建出新的模型。
- 多边形建模。
- 雕刻模型。
- 对模型进行检查,清理模型的拓扑结构和破洞。
- 为想要 3D 打印的模型添加支撑结构,能够自动和手动生成支撑结构,且操作非常简单。
- 为模型简单上色。
- 设计雕刻的粗模,然后再使用雕刻软件精雕。

正因为 Meshmixer 拥有强大的功能,其在 3D 打印领域应用得越来越广泛。本书介绍的是 Autodesk Meshmixer 2.9.4 版本,Meshmixer 的用户现在可以在软件中直接打开或保存 123D 项目,打开和修补来自 123D Catch 的模型,并在 123D 中共享,也可以利用 123D Design 设计的模型混搭出新的模型;通过 Meshmixer,还可以浏览 Autodesk 的在线模型库 123D Gallery,那里有其他设计师上传的各种 3D 模型;还可以抓取来自其他 3D 软件设计的 3D 模型,并在 Meshmixer 中进行组合、雕刻、上色或进行其他调整;也可以使用 Meshmixer 细化自己的设计模型,或准备用于 3D 打印的网格模型文件。除此之外,也可利用.obj 格式,导入各种模型网站上的模型,这是一种 CG 设计软件通用的格式。可以说,模型的来源是无限的。

作者自 2014 年以来一直在翻译和编写 123D 中软件的教程,经常登录 Autodesk 123D 官网,那时 123D 系列还没有包含 Meshmixer 软件。Autodesk 公司把 Meshmixer 并入 123D 系列,为广大 3D 打印爱好者提供了极大的便利。

1.5 3D 打印建模的注意事项

在 polygon 建模软件中，比如常见的 Maya、3dsMax、lightwave、Modo、Cinema4D 等，由于原来的设计方向是 CG 行业，主要用于视觉传达领域，模型有些小的问题影响不大。而现在要把模型 3D 打印出来，应用这类建模方式的软件就要注意了，虽然这些软件都可以输出 .stl 格式，但建模过程中必须注意一些细节，否则会造成打印失败。而实体建模和雕刻软件中这类的问题就少多了，所以我先编写了《3D 打印建模：Autodesk 123D Design 详解与实战》，使用那本书中所介绍的软件，就无须考虑法线和破洞的问题。

下面是建模时需要注意的事项：

1. 模型必须是封闭的对象

这就是模型的水密性 (Watertight)，通俗地讲，就是模型不漏水，如图 1-14 所示。

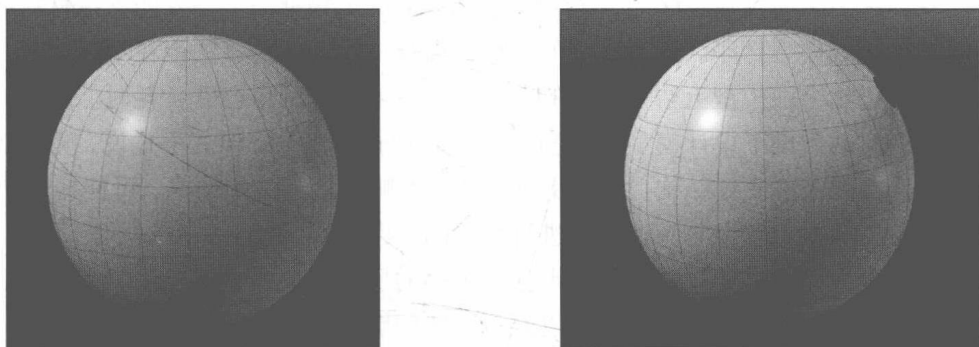


图 1-14 右图中缺失一个面，就不是水密的

可以借助一些软件来检查、修复水密性问题，如 Geomagic studio、Magics、Netfabb 和 Meshmixer 等。

2. 模型必须为流形

流形 (Manifold) 是一个专业的数学用语，非专业对流形的定义是，要求在某个任何小的空间里，它必须是“简单”的。例如，可以把一个柿子看作一个流形，但某天它发霉了，长了一根毛 (看作一条线)，它就不是流形了。在建模过程中，如果一个网格模型中存在多个面共享一条边的情况，那么模型就不是流形的。如图 1-15 所示，两个立方体只有一条共同的边，这条边被 4 个面共享，所以模型不是流形的。这是多边形建模软件中常见的问题。

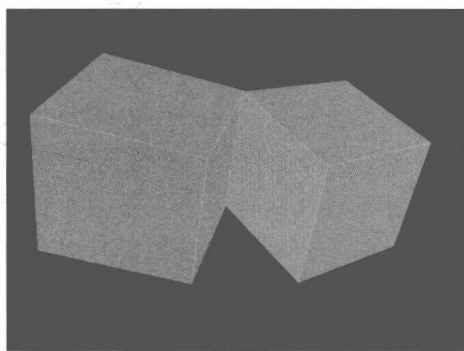


图 1-15 非流形模型

3. 模型要有正确的法线方向

模型中所有面的法线要指向一个正确的方向，如果法线的方向错误，模型也不可能被正

确打印。

4. 模型要有一定的厚度

3D 网格是没有厚度的,但现实世界中的物体都有厚度,所以一定要给模型添加厚度。作者经常会接收到客户发来的用 3dsMax 做的模型,没有指定网格厚度,当然不可能把它 3D 打印出来。

5. 模型的最小厚度

FDM 3D 打印机的喷嘴直径是一定的,设置打印模型的壁厚时,要考虑打印机能打印的最小壁厚,不然,会出现失败或者错误的模型。一般最小厚度为 2mm,不同成型方式的 3D 打印机厚度也不同。

6. 45°法则

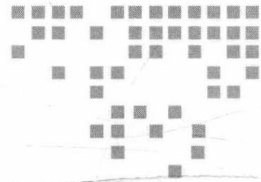
45° 法则是一个通用建筑法则,任何超过 45° 的突出物都需要额外的支撑材料或高超的建模技巧才能完成模型打印。随着时间的推移,设计支撑所用的算法也在不断进步,但是支撑材料去除后仍然会在模型上留下很丑的印记,而去除的过程也会非常耗时。所以,要尽量在没有支撑材料的帮助下设计模型,使它可以直接进行 3D 打印。但并不是说,模型超过 45° 的部分就一定需要添加支撑结构,如果是自底部向上顺畅地过渡的情况,可能接近 70° 的部位不需要支撑也能够打印出来,这需要进行反复的实践,所谓规则不要过于教条。

以上是建模过程中需要注意的主要事项,更多的事项需要在实践中体会。设计 3D 模型本无定法,但遵循一些通用的规则,可以避免一些问题。使用多边形建模软件设计 3D 打印模型时,要勒住“天马行空的缰绳”,因为 3D 打印要把数字模型打印成实物,而不是仅仅在计算机屏幕上进行视觉展示。

1.6 小结

本章介绍了 Autodesk Meshmixer 软件和 3D 网络的简单知识。即使是初学者,也需要了解一点多边形建模的基础知识,否则就无从理解 Meshmixer 混搭建模的优点,这或许是主流的多边形建模软件也不具备的功能。

从下一章开始,我们会逐步学习 Meshmixer 软件的界面和在 3D 打印中的应用,从而掌握这个软件的实用功能。



Meshmixer 软件界面和功能

Meshmixer 是 Autodesk 123D 套件中的一个成员,所以首先登录 Autodesk 123D 的官方网站,从网站上下载 Meshmixer。

2.1 下载 Meshmixer 及安装过程

登录 <http://www.123dapp.com/>后,会出现如图 2-1 所示的界面。

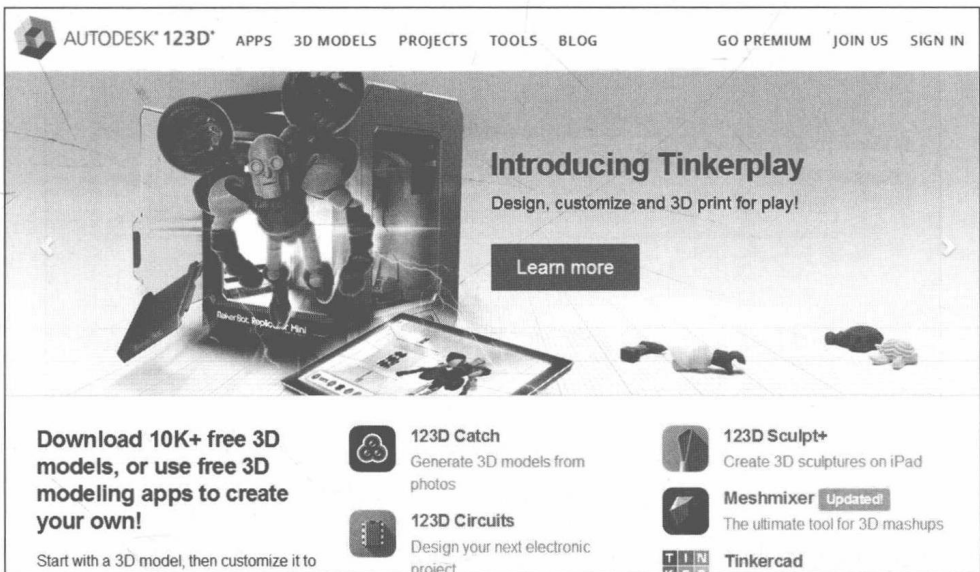


图 2-1 123dapp 网站的界面