

第1章 概述

1.1 Fusion 360 与设计教育

Fusion 360 是 Autodesk 公司推出的一款基于云端计算的新一代 CAD/CAE/CAM 工具，是集工业设计、结构设计、机械仿真以及 CAM 于一身，支持跨平台和通过云端进行协作、计算并分享的软件工具。Fusion 360 已经逐渐成为集 Autodesk 云端计算及云协作于一体的云端设计平台，融入了很多非常优秀的云端计算服务，如设计交互、衍生式设计、装配动画、高品质渲染、仿真分析、CAM 辅助制造、3D 打印等，可实现从概念到生产工具的全部设计理念，使设计探索更加容易和便捷。

1.1.1 设计 3.0 时代的特征

智能制造 2025 是中国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领，它推动中国制造业进入转型期。在中国制造业进行产业升级的进程中，创新设计的作用越来越突出，智能制造离不开创新设计驱动，而对于创新设计与智能制造人才培养以及专业链的建设格外重要。中国科学院原院长、全国人大常委会原副委员长路甬祥院士提出，在第三次工业革命浪潮中，“创新设计”将引领以信息化和网络化为特征的绿色、智能、个性化、可分享的可持续发展文明走向。中国需要提升创新设计能力作为促进创新驱动、转型发展、建设创新型国家的重要战略。中国设计要引领世界发展潮流，积极迈向设计 3.0 时代。路甬祥院士解释说，我们把农耕时代的传统设计称之为 1.0 时代，把当前工业化的现代设计称之为 2.0 时代，全球知识网络时代、设计与材料创新将呈现新的特征，将进化为设计创新的 3.0 时代。

同济大学副校长娄永琪教授回应说，设计转化到 3.0 时代带来了三个巨大转变。一是主体改变，设计 3.0 支撑了从“给人们设计（design to people）”“为人们设计（design for people）”“和人们设计（design with people）”到“由人们设计（design by people）”的转变。在这个过程中，设计的主体由专业人士越来越多地向用户和普通人转变，让更多的人具有设计能力，参与设计过程，这成为 3.0 时代的重要特征。二是方式改变。信息网络时代的设计，从设计工具、设计方式、设计流程都发生了颠覆性的改变。三是产业改变。信息网络时代使得创新创业和产业转型有了新的途径。而 Autodesk 公司推出的 Fusion 360 对应设计 3.0 时代的所有特征，满足设计需求。

1.1.2 专业链融合的发展趋势

Fusion 是融合的意思。它的确融合了很多相关技术，比如说融合了 Windows 和 Mac，融合了直接建模和参数化建模，融合了 T-Splines 建模和 B-Rep 建模，融合了桌面软件和云端计算，而 360 指的就是云端计算技术。Fusion 360 很好地融合了参数化建模和直接建模，既保留了直接建模在工业设计上的灵活性，同时也兼顾了结构设计中建模历史和参数化控制的需求。

在以往的产品研发中,专业链之间的衔接一直是一个痛点,例如工业设计和结构设计。工业设计和结构设计往往使用不同的软件,结构工程师既希望能最大限度地利用工业设计的结果,又担心由于工业设计的变更而带来的大面积结构设计返工。Fusion 360 最大的亮点是融合了工业设计和结构设计的需求,同时最大限度地保证工业设计的变更可以传递到后续的结构设计中,提高工程师的设计效率。设计师仅通过这个单独的云平台即可在 Mac 和 PC 上完成整个产品开发过程并可在两个系统之间进行数据交换。所有团队成员可以随时随地在任何设备上协同工作。这样不同专业在同一云端平台上并行设计,既解决了交流障碍问题又解决了文件格式相互导出导入带来的模型破损等问题,实现了专业链之间的高度融合。

1.1.3 关于工业设计专业课程建设的几点思考

(1) **工业设计是对商品或者品牌的设计,而不仅仅是产品设计或工程设计。**马克思在《资本论》中写道,从产品到商品是一次惊险的跳跃,因为它实现了产品的价值。而从商品到品牌则是又一次惊险的跳跃,因为它实现的是产品的附加值。工业设计至少是针对商品或品牌的设计,是一种以提升产品附加值为目的,打造品牌认知度和美誉度的工作。例如苹果手机,它的生产成本不到 200 元人民币,可新上市的苹果手机的售价却在 6000 元人民币,而客户对于苹果的品牌价值认可度和接受度是很高的。众所周知,苹果公司就是运用了工业设计中的“极简主义”来大幅度提升产品附加值和品牌认知度的。而目前我国大部分高校的工业设计专业往往把注意力放在了产品设计上,教学过程中仅仅关注学生设计方案的可使用性、材料、成本等问题,忽略了对于提升商品价值和附加值的研究、品牌打造、客户群体的拓展、市场潜力的挖掘与用户品牌忠实度等方向上的问题。

(2) **工业设计是面向客户的设计,而不仅仅是解决用户问题。**工业设计不仅仅要针对用户进行设计,更多的是要针对客户进行设计。这两者的关注点是不同的,用户关注产品的实用性与适用性,而客户更加关注的是商品的性价比,因此物超所值才是客户所关注的。在零售情况下用户与客户通常是一个个体,但在许多商业环境下客户不一定是用户,例如学校的桌椅,购买者是校方,使用者则是学生或教师。校方作为客户在采购桌椅和设备的时候考虑的是现有资金预算、购买数量以及是否能够提升教学环境等问题,而师生们作为用户在使用桌椅或设备的时候才会体验产品的实用性等问题。这种购买行为在前,用户体验在后的情况有很多。学校不会等师生深入体验产品的实用性后再去购买产品,决定购买动机的往往是品牌和商品的视觉价值和性价比。而这样的商业情况并非个例,学校、医院、政府机关、企业等单位在采购商品时都存在类似的情况,因此工业设计专业的关注点应该是提升商品的视觉价值和剩余价值,打造品牌的影响力,而不应该过多地把关注点放在产品实用性、工程性和用户满意度上。

(3) **工业设计专业要重视软件工具的使用与教学。**制作工具与使用工具是人类区别于其他动物的标志之一,工具伴随着人类文明,可以说人类社会是建立于工具之上的。工具大大扩展了人各个器官的功能。工具的进步拓展了设计思维、方法和途径,设计是在做中去思考的,而不是头脑中想好了再表达出来。软件工具既是设计师表达设计方案和评价设计方案的工具,又是设计思考的重要手段,更是不同专业之间的交流协作平台。因此在教学中应该重视软件工具的使用与教学。当前一些高校的工业设计专业把《计算机辅助设计》课程取消了,其原因是软件工具设计易懂通用,网上可以下载到学习视频,学生们课下自学就能满足设计与制作任务,不用通过教师在课程中详细讲授。这一方面忽略了学生的惰性,另一方面也忽略了自媒体时代网络视频的质量,这是不正确的。教师在课上的讲解、剖析、指导和练习对于学生学习掌握软件工具的使用是非常重要的。在一些高校的工业设计专业任教的过程中发现,取消《计算机辅助设计》课程的设计类学生,在理论教学的设计环节、设计实践、毕业设计、设计比赛等课程中不仅思维受到限制,而且设计制作和方案表达困难,时间久。4~5 位同学一组设计一个完整的方案都达不到课程标准。

(4) **国内高校科技成果转化缺少工业设计环节。**国内大多数高校都成立了科技成果转化中心,但实际的科技成果转化工作开展起来是比较困难的,究其原因是缺少工业设计环节。高校中的专利技术不仅要转化为产品和样机,更要转化成商品和品牌,形成广阔的市场前景和商品附加值,这样才能在市场中融资融智。设计将技术转化为有价值的商品才能拥有客户群体,直接推动地方经济的发展。工业设计师在科技成果转化的过程中

既可以横向打造产品类别与客户群体，又可以纵向进行产品的迭代与创新设计。而目前国内大多数高校的科技成果转化工作缺少工业设计专业的参与。无论是体制建设上的建岗建制，还是实际转化流程上的环节，都缺少了工业设计师的参与。这使得许多高校的科技成果转化工作只进行到实验阶段或者产品样机阶段就进行不下去了。而从研发流程来说，基本上都是到了样机阶段才意识到应该给这一堆零部件加上一个什么样的壳子，这也违背了设计引领市场的原则。科技成果转化工作一开始就应当考虑将来的商品面对什么样的客户人群，价值点在哪里，人机界面及虚拟样机与机电架构应是同步开展工作的。

1.2 Autodesk Fusion 360 教育教学支持方案

1.2.1 Autodesk Fusion 360 授权培训中心 ATC

学习在线课程，请登录：<http://e.acaa.cn>。

“建立 Fusion 360 产业链生态发展”是中国制造 / 工业设计行业创新发展的重要途径和必然趋势。如果您有计划开展 Fusion 360 企业培训或者职业教育项目，希望获得 Fusion 360-Autodesk 授权培训中心官方资格，采用 Autodesk 国际认证、标准教材和课程体系，请联系 Autodesk 中国教育管理中心，电话：010-51303091-2。

服务内容包括：国际化标准课程与行业实训实施方案、标准考试实施方案与国际认证、专业教师培养方案、教学与实训环境建设方案等，详情请索取中国职业教育学会《职业教育国际合作项目手册》，如表 1-1 所示。

表 1-1

行业分类	院校专业	国际化课程内容	职业方向和就业岗位	教育支持与服务
工业制造 机械机电	机电一体化 数控技术 模具设计 机械制造及自动化 机械设计与制造 工业与检验分析	Inventor Fusion 360 AutoCAD Mechanical 机械设计 AutoCAD Electrical 电气工程与三维设计	机械设计师 电气自动化工程师 结构构件设计师（工程师） 工业三维建模师.....	核心课程植入 / 置换 教学大纲和课件支持 教学案例与素材支持 视频课程支持 项目实训支持 国际标准考试支持
工业设计 产品设计	工业设计 产品设计 数字化设计与制造	Alias：工业（汽车）设计与产品设计 Showcase：外观设计与模拟 Fusion 360 产品设计与开发协作 Inventor：三维设计、制图与数字样机 AutoCAD：机械制图	工业设计师 概念设计师 产品外观设计师 产品造型师 汽车设计师 汽车配件设计师 \ 工程师	新课程培训证明 国际资格认证证书 职业资格认证证书 教师培训和考核 专业研讨与调研 实训实验室建设支持 设计类软件支持 教学设备采购支持

1.2.2 Autodesk Fusion 360 工程师认证

- 颁发机构：Autodesk。
- 科目：Autodesk Fusion 360。
- 证书：Autodesk 认证工程师证书。
- 资格：Autodesk Fusion 产品专员。
- 行业：工业 / 制造业、工业设计、产品设计、机械设计等。
- 岗位：工业设计师、产品设计师、机械设计师、工程师……
- 对象：在职工程师 / 设计师 / 技术人员、专业高校教师 / 学生。

Autodesk Fusion 360 证书样本如图 1-1 所示。

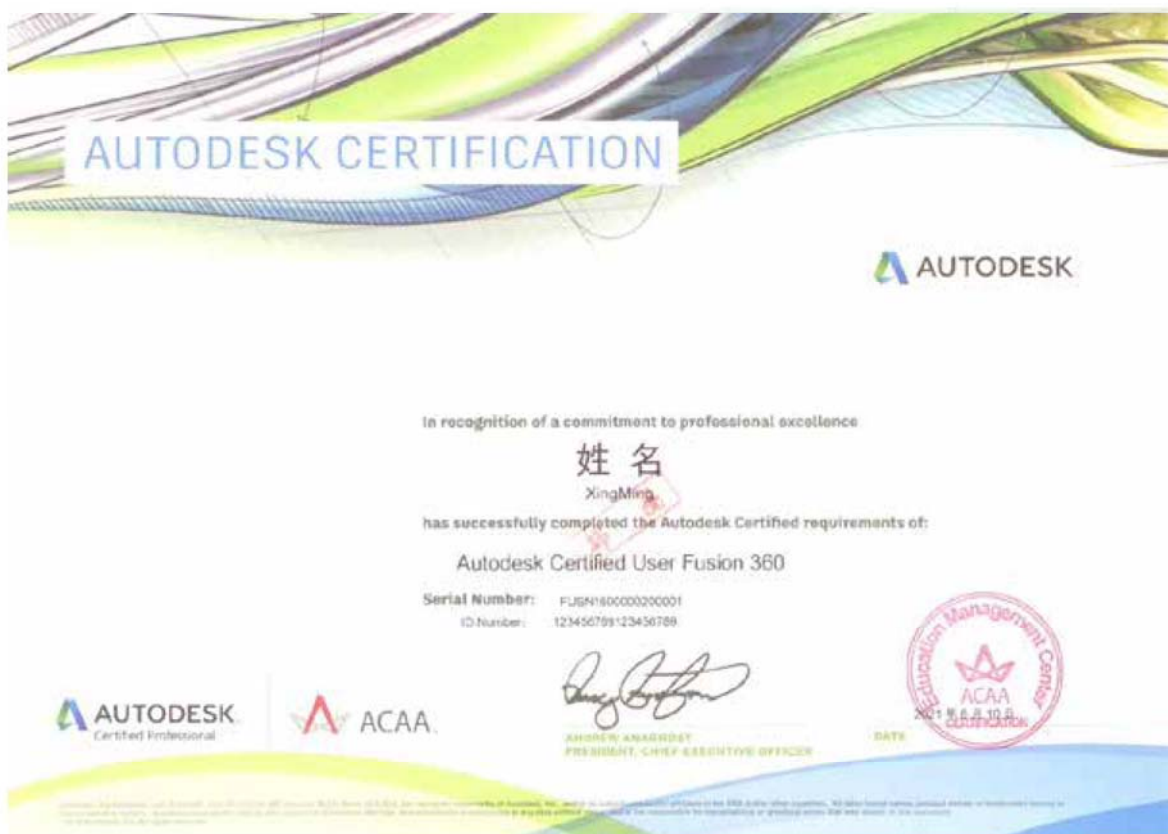


图 1-1

第2章

Autodesk Fusion 360 安装及工作空间介绍

2.1 Autodesk Fusion 360 的安装与界面

2.1.1 Autodesk Fusion 360 的安装

1. 系统要求

基本系统要求如下。

- Apple Mac® OS® X Mavericks (10.9.5), OS® X Yosemite (10.10.5), OS® X El Capitan (10.11)。
- Microsoft® Windows® 7 SP1 或 Microsoft® Windows® 8.1, Windows® 10。
- 处理器 (CPU): 64 位处理器不支持 32 位。
- 内存 (Memory): 3GB 内存 (建议 4GB 或更大)。
- 网络: ADSL internet connection or faster。
- 磁盘空间 (Disk space): 大约 2.5GB。
- 显卡 (Graphics Card): 512MB GDDR RAM or more, except Intel GMA X3100 cards。
- 指针设备 (Pointing device): Microsoft-compliant Mouse, Apple Mouse, Magic Mouse, MacBook Pro Trackpad。

2. 安装过程

Autodesk Fusion 360 的下载地址为 <http://Fusion 360.autodesk.com/pricing>。下面介绍其安装过程。

步骤 1 输入网址，进入 Autodesk Fusion 360 的官方页面，如图 2-1 所示。

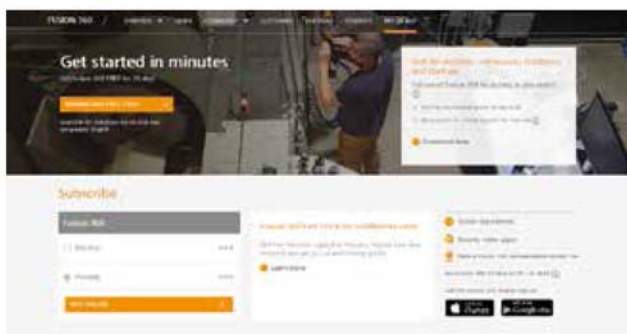


图 2-1

步骤 2 输入 E-mail 地址，单击 DOWNLOAD FREE TRIAL 按钮，如图 2-2 所示。



图 2-2

步骤 3 进入 Autodesk Fusion 360 下载页面，单击 click here to retry 超链接，如图 2-3 所示。

步骤 4 下载并安装 Autodesk Fusion 360 软件，如图 2-4 所示。



图 2-3



图 2-4

步骤 5 启动 Autodesk Fusion 360，输入账号和密码。如果没有账号，单击“注册”按钮，输入注册信息，如图 2-5 所示。



图 2-5

2.1.2 Autodesk Fusion 360 的界面

Autodesk Fusion 360 的界面由 9 部分组成：工作空间、菜单栏、用户登录、工具条、浏览器、数据面板、视图观察器、时间轴和显示设置，如图 2-6 所示。

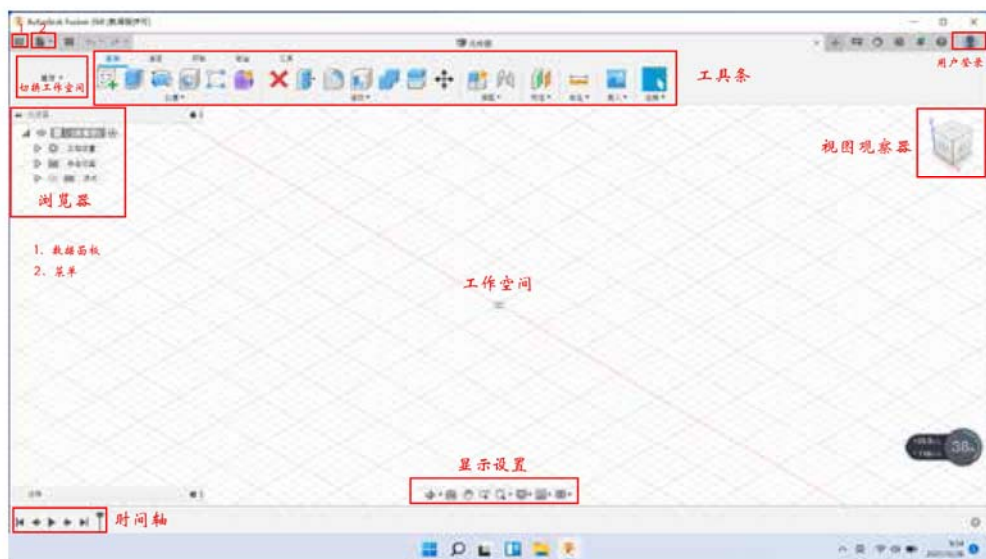


图 2-6

- (1) 菜单栏: 可以访问云上的数据, 可以完成新建数据存储。
- (2) 用户登录: 账户信息以及帮助菜单。
- (3) 工具条: 命令图标集合, 可以选择作业的作业空间, 如图 2-7 所示。



图 2-7

- (4) 视图观察器: 可以切换视图方向, 如图 2-8 所示。

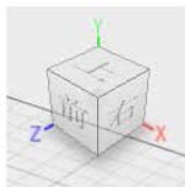


图 2-8

- (5) 工作空间: 完成模型的相关操作, 如图 2-9 所示。

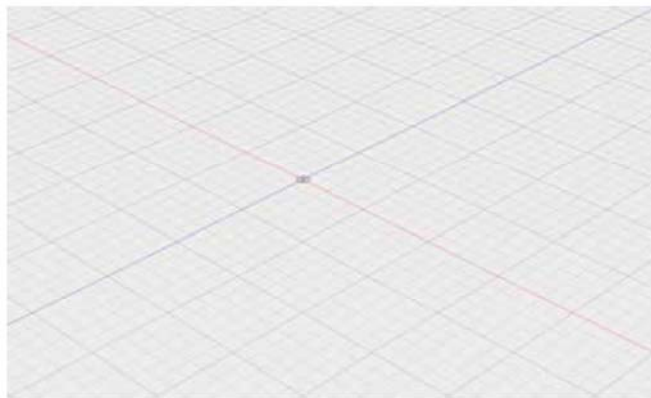


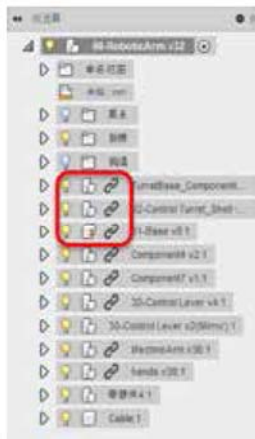
图 2-9

- (6) 时间轴: 建模过程记录, 可以进行编辑管理, 如图 2-10 所示。



图 2-10

- (7) 浏览器: 模型的管理与分层, 如图 2-11 所示。



包含子部件



不包含子部件

图 2-11

(8) 显示设置：视图控制和设置。

提示

Fusion 360 为新用户提供了帮助文件以供学习，就在界面的右上角，如图 2-12 所示。

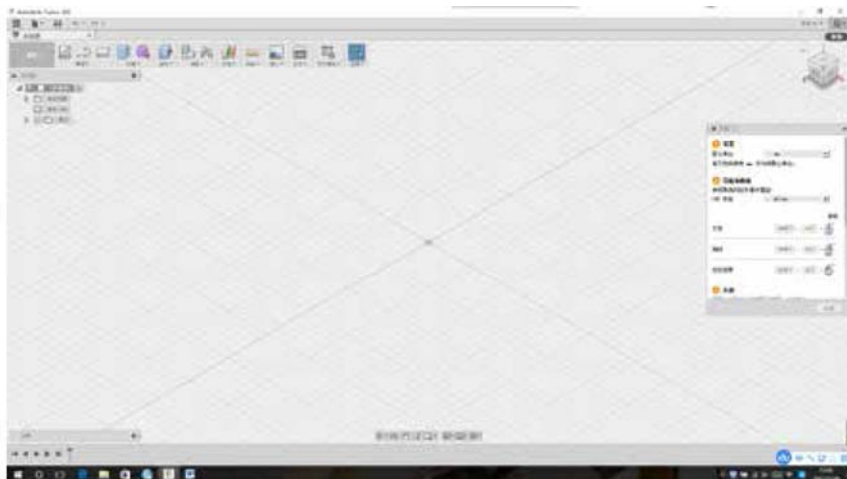


图 2-12

2.1.3 文件的打开与导入

Fusion 360 默认的保存路径是云端，因此，如果单击“保存”按钮，它会直接把文件上传到云端。同时，Fusion 360 也支持本地存储，那就是导出。单击“导出”按钮后，会显示导出路径，选择存储地址后才能够本地存储。

Fusion 360 软件支持各种文件格式的导入，包括 STEP、IGES、Inventor、SolidWorks 等，如图 2-13 所示。这是基于云计算的文件格式转换。你的文件首先被上传到 Autodesk 服务器，这些文件将自动转换成 Fusion 360 格式。因此理论上支持任意类型的格式转换的，只要服务器支持。

Fusion 360 在 2013 年还联合 AutoCAD 360 发布了另一个针对 CAD 领域最大模型分享社区 GrabCAD 的版本。在有超过一百万设计者用户的 GrabCAD 上，已经有全世界各地的设计爱好者上传的大量的模型供你参考。

Fusion 360 自己也提供了一个模型库，里面有很多值得欣赏的酷炫模型，如图 2-14 所示。

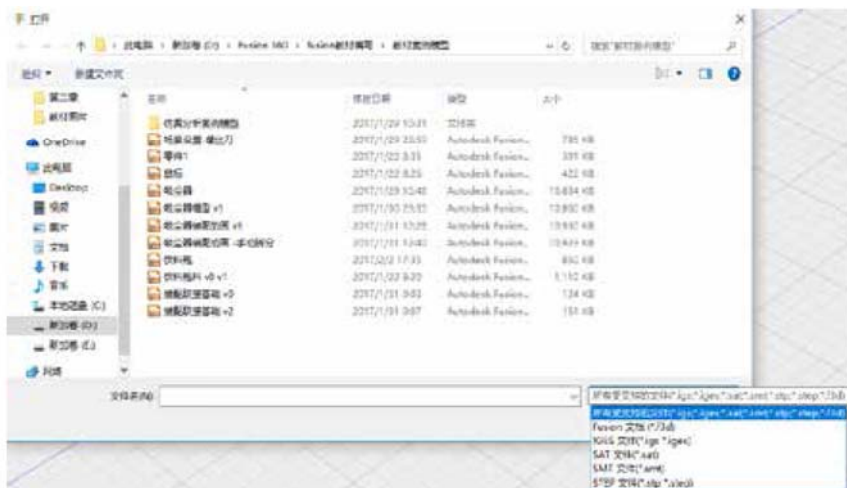


图 2-13

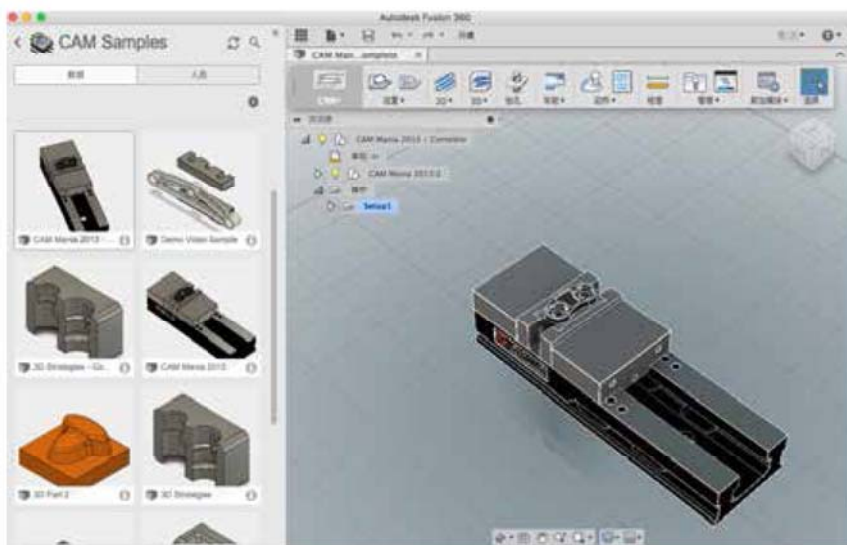


图 2-14

2.2 Autodesk Fusion 360 工作空间介绍

Fusion 360 包括了很多个工作空间：草图、设计、衍生式设计、造型、模型、曲面、钣金、工具、渲染、动画、仿真、CAM、工程图等，如图 2-15 所示。

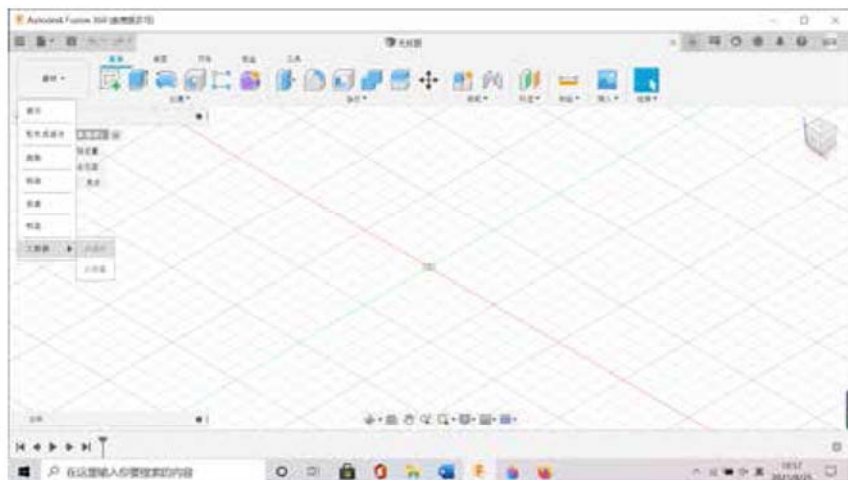


图 2-15

2.2.1 草图工作空间

草图工作空间用于绘制草图。草图绘制对于工业设计和机械设计来说相当重要。草图是三维建模的基础，很多复杂的模型需要基于草图来构建，像常用的建模特征拉伸、旋转、扫掠、放样等都是基于草图的。而且，很多工业产品设计都是曲面建模，设计中经常会不断地调整草图尺寸，在参数化建模环境下，更改草图后关联特征都会更新。所以，草图会影响到更新所需的时间以及关联特征更新时的成功率。一个好的草图应该是在满足使用（形状准确）的前提下，占用更少的计算机资源，更可靠地传递关联关系，如图 2-16 所示。

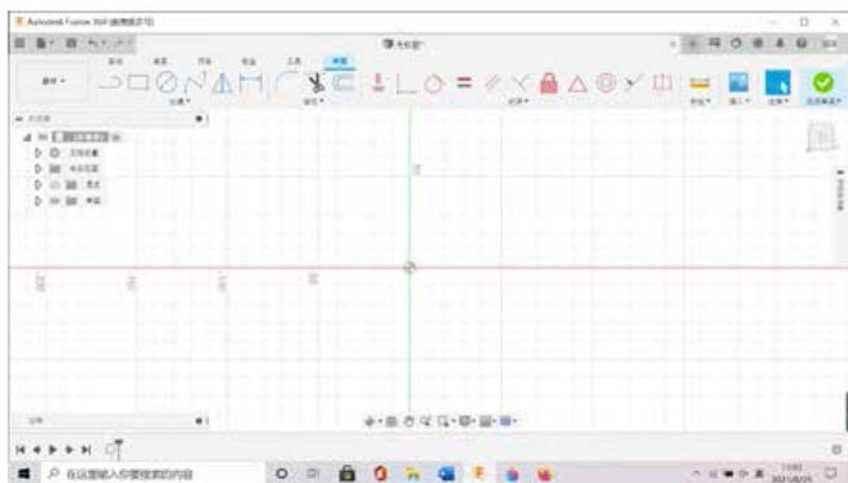


图 2-16

2.2.2 设计工作空间

Fusion 360 为用户提供了 6 种模型工作空间：实体、造型、曲面、网格、钣金与工具。Fusion 360 还具备两种建模方式：自顶向下的设计与自下而上的设计。

自顶向下的设计：从主部件开始将其分解为子部件和零件，并确定各个子部件之间的关系和装配方式，能够体现出模型的整体设计意图，并且能够适应于产品的频繁修改，适用于产品的概念设计阶段。

自下而上的设计：从零件开始确定每一个零件的详细信息，逐步完成子部件后再完成主部件，并最终完成整个产品的设计。自下而上的设计不能完全体现设计的意图，加大了设计冲突和错误的风险，因此不够灵活，适用于不需要频繁修改的产品设计，比如在产品设计的中后期，这是使用较为广泛的设计方法。

(1) 实体模型工作空间

实体模型工作空间支持用户创建和编辑实体三维几何图元。这个工作空间更像一个传统的三维 CAD 环境。

除了拉伸或旋转等标准建模功能外，还可以从“模型”工作空间中访问“造型”工作空间，如图 2-17 所示。

Fusion 360 融合了自顶向下和自下而上的参数化设计，支持包含骨架模型（在 Inventor 和 Pro/E 中被广泛使用）、零部件引用（在 SolidWorks 中被广泛使用），以及一种与众不同的建模方式零部件分割。这得益于 Fusion 360 中参数化建模的一种尝试：零部件的生命周期也有了历史信息，包括零部件的创建、删除、拷贝、层次的变化和位置的变化。同时，该软件使用各大社交网站流行的时间轴方式来管理历史信息。

（2）造型工作空间

造型工作空间是模型工作空间的子环境。通过造型工具，可以从顶点和边将几何图元推拉为所需的形状。可以在造型工作空间中创建和修改二维或三维曲面几何图元和三维实体对象。

T 样条建模（T-Splines modeling）技术结合了 NURBS 和细分表面建模技术的特点，是一种全新的建模技术。该技术及相关专利在 2011 年被 Autodesk 公司收购后，就被运用在了 Fusion 360 这款软件中。很多 T-Splines 的新技术都率先在 Fusion 360 中实践。在 Fusion 360 中，T-Splines 技术已经和实体建模技术融合，T 样条的曲面可以转换成 B-Rep 的曲面；同样 B-Rep 的曲面也可以转换成 T 样条的曲面，如图 2-18 所示。

（3）曲面模型工作空间

曲面模型工作空间支持创建和编辑二维或三维曲面几何图元。处理曲面几何图元与处理传统的三维实体略有不同，因此将其划分在一个单独的工作空间中。许多设计师使用曲面建模技术以及三维建模。曲面建模又称为面片建模，是将二维图形结合起来形成三维几何体的方法。其实面片是根据样条线边界形成的 Bezier 表面。面片建模有很多优点，它不但直观，而且可以参数化地调整网格的密度。Autodesk Fusion 360 中的曲面模型工作空间中非常强大的建模环境又增加了额外的灵活性，如图 2-19 所示。

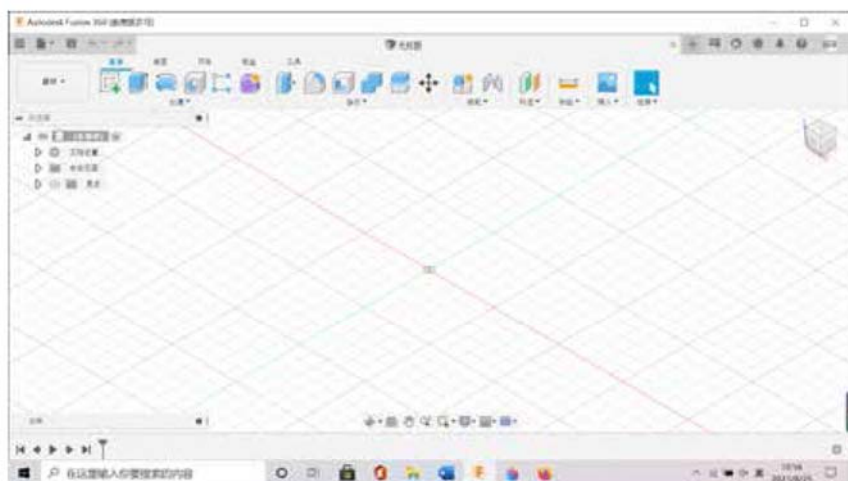


图 2-17

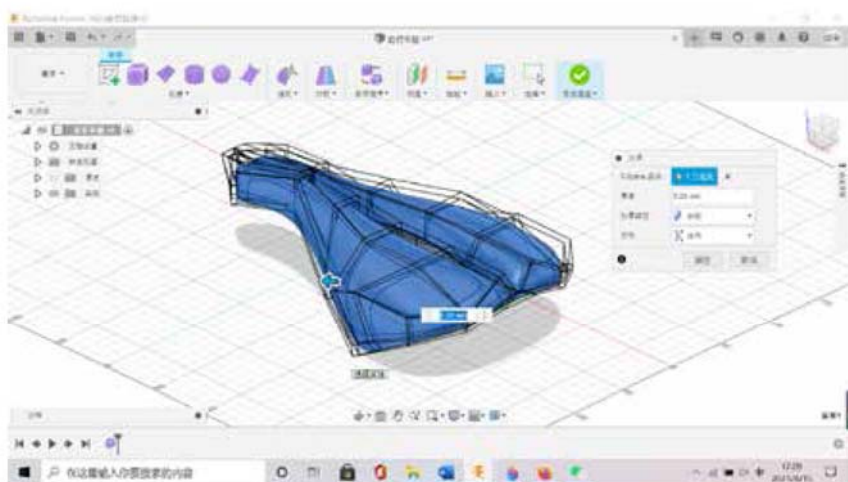


图 2-18

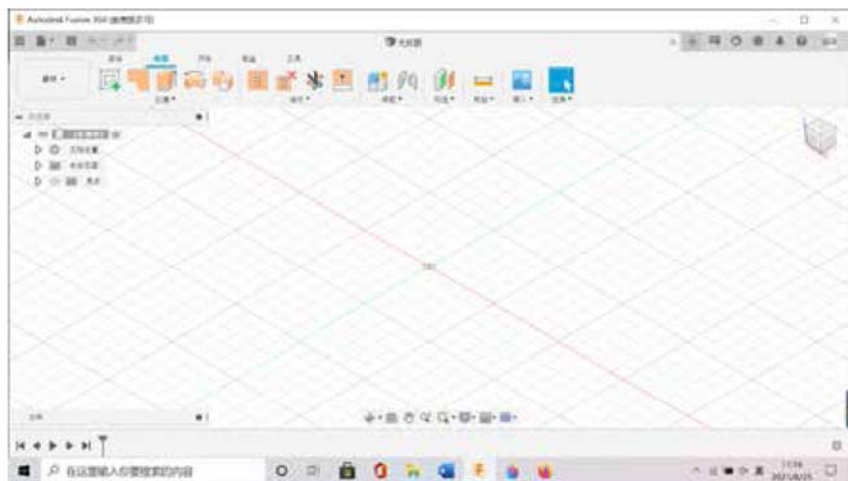


图 2-19

(4) 网格模型工作空间

使用网格工作空间可以修复并重新划分网格实体。网格实体是实体体积的表达，它使用许多按三角形或四边形排列的短线段来形成面。使用网格可以进行三维打印。也可以在造型工作空间中操纵已划分网格的实体，如图 2-20 所示。

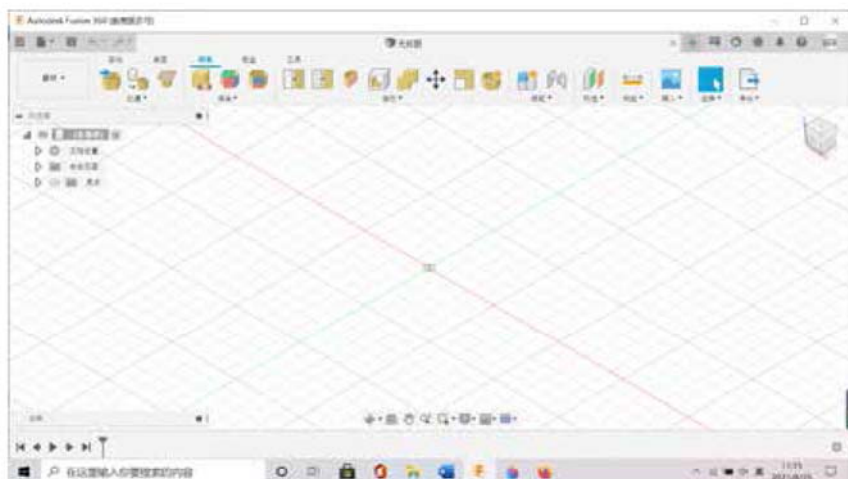


图 2-20

提示

一定不要把网格实体与在“仿真”工作空间中生成的有限元分析（FEA）网格相混淆。FEA 网格线表示各实体元素的边，并且这些元素延伸穿过实体零件的体积，而不仅仅在面上延伸。FEA 网格线的端点是计算仿真结果的节点（或栅格）。

(5) 钣金模型工作空间

钣金是针对金属薄板的一种综合冷加工工艺，包括剪、冲、切、复合、折、铆接、拼接、成型等。钣金具有重量轻、强度高、导电、成本低、大规模量产性能好等特点。随着钣金的应用越来越广泛，钣金件的设计变成了产品开发过程中很重要的一环。Autodesk Fusion 360 的钣金设计工作空间成熟全面，拥有很好的逻辑性与可视化，能够快速生成钣金件，如图 2-21 所示。

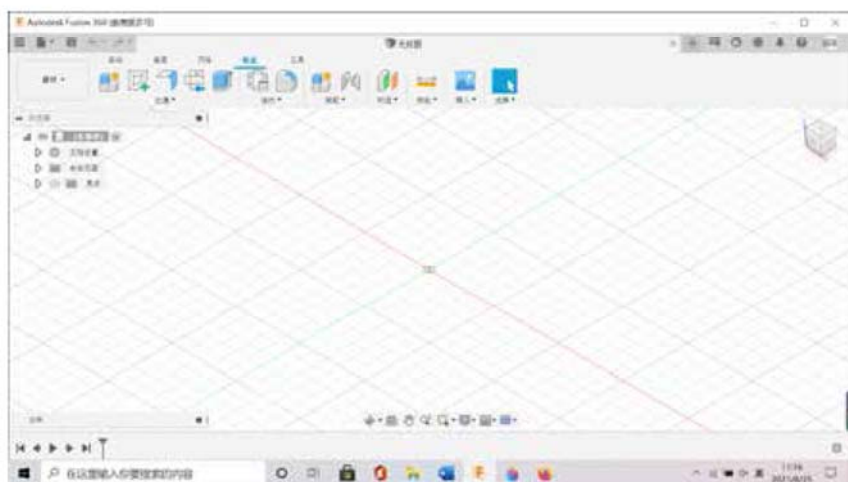


图 2-21

(6) 工具工作空间

工具工作空间包含了生成 3D 打印、脚本与附加模块、实用程序和检验等工具，是设计流程后期非常重要的工作空间，如图 2-22 所示。

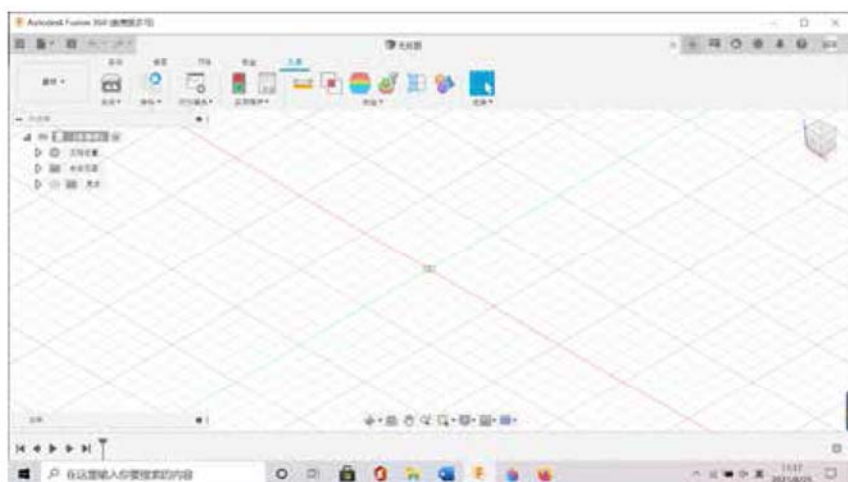


图 2-22

2.2.3 衍生式设计工作空间

衍生式设计又称为进化式设计，是一种在设计过程中，计算机模拟大自然的进化方式所进行的设计。Autodesk Fusion 360 衍生式设计工作空间，可以通过计算机和云计算得出多种设计方案，突破传统制造方法的限制，得到设计最优的解决方案；它的使用方式被设计为线性操作，用户只需要从左至右将衍生式设计命令工具按顺序设置相关条件即可。设计师和创新工程师将设计目标及材料设定、制造方法、运动干涉和载荷约束等设计条件，通过参数输入到 Autodesk Fusion 360 衍生式设计工作空间中，软件使用云计算探索对所有可能的解决方案进行排列组合，快速生成大量设计备选方案，然后进行测试，通过不断迭代能获取上千种优质设计方案，如图 2-23 所示。

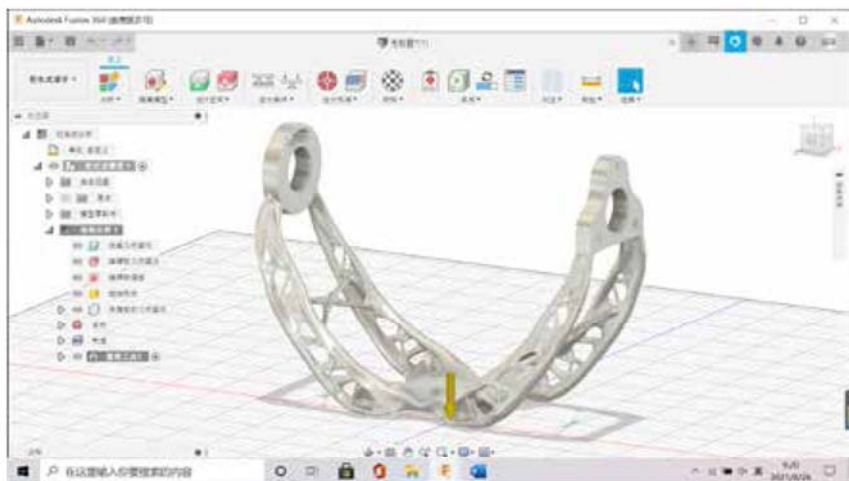


图 2-23

2.2.4 渲染工作空间

渲染工作空间用于生成设计的真实照片。通过光源和添加贴图等功能，用户可以展示自己的设计，就好像它是一个生动的原型一样。

Fusion 360 可借助云计算的强大力量可视化产品模型，可实时创建光线追踪，通过渲染引擎或强大的云渲染，使你的作品呈现照片级效果。

Fusion 360 具有庞大的渲染材料数据库，如塑料、油漆、木材、金属、玻璃、复合材料等，而这些材料库中的有些材料又可以选择半透明、透明和不透明的样式。可以对现有材料进行编辑和定制，以适合您的需求。Fusion 360 同时还可以设置光源和阴影，并能在场景中进行各种相机设置，如焦距、景深、光源和环境。

为了更全面地渲染和表现设计作品，Fusion 360 还在渲染作品库中内置了渲染转台命令，可以生成转台动画并下载到本地文件中，如图 2-24 所示。

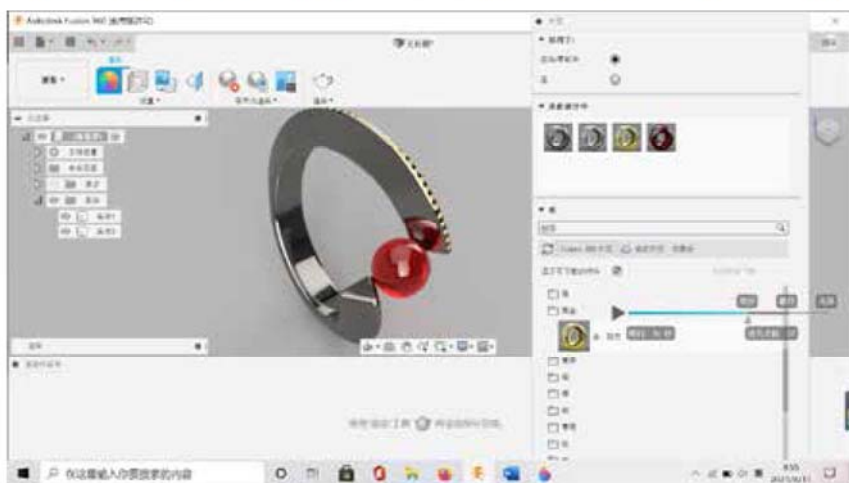


图 2-24

2.2.5 动画工作空间

动画工作空间提供了用于创建视频的工具，可以轻松共享视频来传达大家的设计特性和功能，而且视频提供了有关设计的所需洞察，有助于其他人了解和评估设计。Fusion 360 是一个很全面、很强大的设计平台，功能模块很多。在动画工作环境中为用户提供了熟知的故事板和关键帧动画，能够更多自由角度、更加多样化地

表现设计作品。如果结合装配命令集，Fusion 360 还能生成强大的装配动画，能清楚地表现出零部件之间的关系和装配顺序，而且画面细腻清晰，视觉感染力很强，如图 2-25 所示。

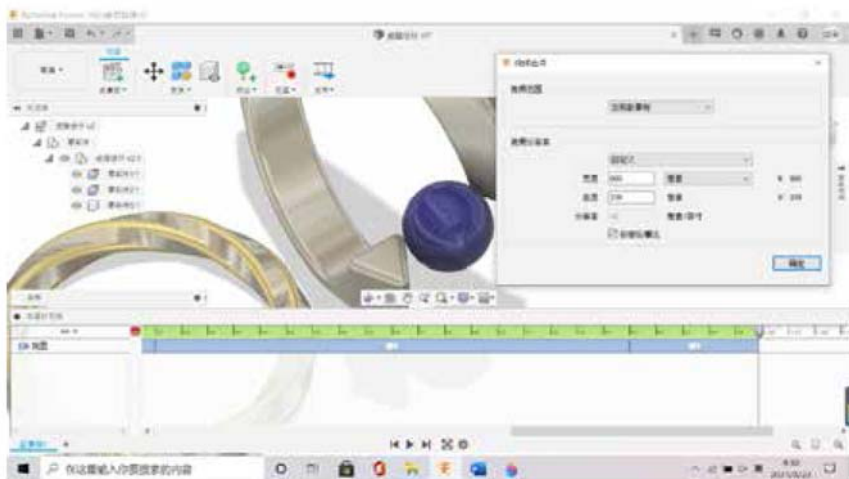


图 2-25

2.2.6 仿真工作空间

仿真工作空间支持大家使用有限元分析来模拟设计在不同载荷和条件作用下的表现。了解设计（关于应力和温度）的物理限制是非常有用的。了解设计是处于失效风险之中还是有可能过度设计，有助于大家做出有关设计评估的正确决定。

在交付生产之前如果全面理解或了解设计案例，这可以大大节省时间和资源。运用 Fusion 的仿真模拟和动画来进行检测，可以发现模型中最可能失败的或最薄弱的地方。还可以与团队对作品研究的结果进行分享、查看和标记。

用户可以选择各种仿真类型：静态应力、模态频率、热量、热应力、结构屈曲、运动仿真、形状优化等，如图 2-26 所示。

Fusion 360 的仿真分析模拟设备在某种动力或驱动下的工作情况，已验证您的机构设计是否合理。Fusion 360 可以根据关节和运动顺序的设定生成运动动画，并进行顺序或逆序播放，如图 2-27 所示。

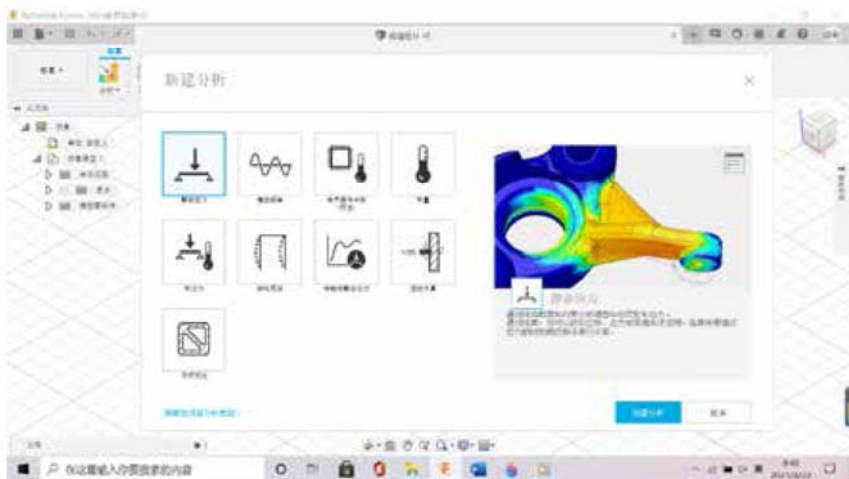


图 2-26

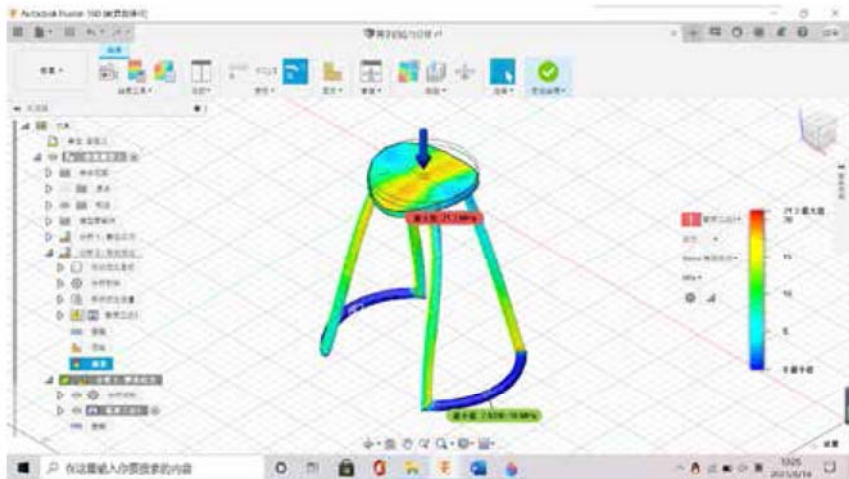


图 2-27

2.2.7 制造工作空间

当设计从数字形式进入制造阶段时，就需要利用制造工作空间中的计算机辅助制造功能生成刀具路径策略以用于制作设计。将刀具路径导出到 CNC（计算机数控）机床，可将虚拟显示的设计案例变为现实。

Fusion 360 将参数化设计、变量化设计及特征造型技术与传统的实体和曲面造型功能完美地结合在一起，实现计算机辅助制造（CAM），并使加工方式更为完备，计算更为准确。Fusion 360 可以对数控加工过程进行自动控制和优化，同时提供了二次开发工具允许用户扩展，如图 2-28 所示。

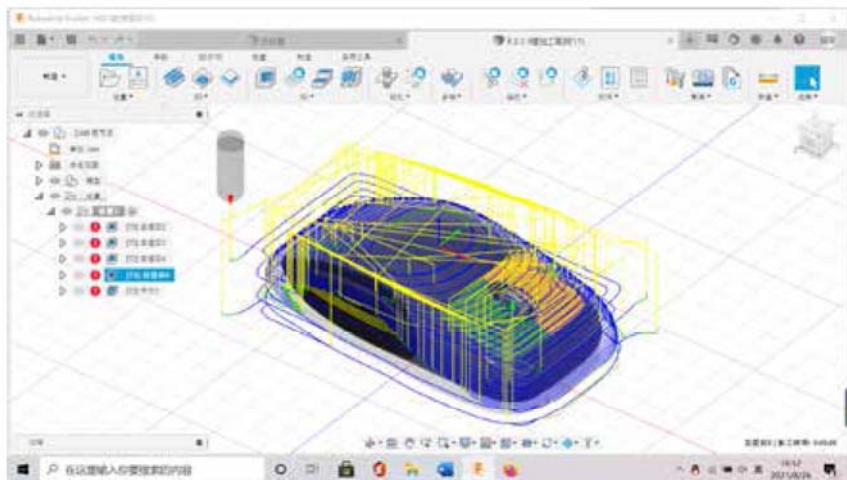


图 2-28

(1) 2 轴加工 / 2.5 轴加工 / 多轴加工

Fusion 360 中的 CAM 包括加工模拟、CNC 编程。

Fusion 360 的 CAM 可共享相同的公认 CAM 内核 HSMWorks 和 Inventor HSM™，使您能够快速完成设计，缩短开发周期，并计算出最佳刀具路径，降低机器和刀具磨损，产生最高质量的成品零件。2D 加工方案包括钻孔、外轮廓加工、内腔加工、表面加工等。

(2) 3 轴加工

具备 3 轴加工技术，可生成 3 轴加工路径和策略，包括粗加工、半精加工和精加工。

(3) 加工仿真

拥有很好的加工仿真系统，能生成加工动画，用于观察加工过程。

(4) 3D 打印

直接在 Fusion 360 中配置 3D 打印策略，并连接 3D 打印机输出模型进行打印。Fusion 360 支持 Spark 平台的 3D 打印实用工具和 Autodesk Meshmixer，同时还将直接集成 Arcam A2 (Tall) 打印机。除此之外，Fusion 360 还能完全集成其他一些主流 3D 打印机品牌，包括 TypeAMachines、Dremel、Makerbot 和 Ultimaker 等。

Autodesk Meshmixer 也能帮助用户定位和调整即将打印的数字模型，以适应特定的 3D 打印机打印床，而无须回到源模型那里进行调整或测试。一旦系统设置好用户想要的修改之后，即可直接将 OBJ 文件发送到目标 3D 打印机上，如图 2-29 所示。

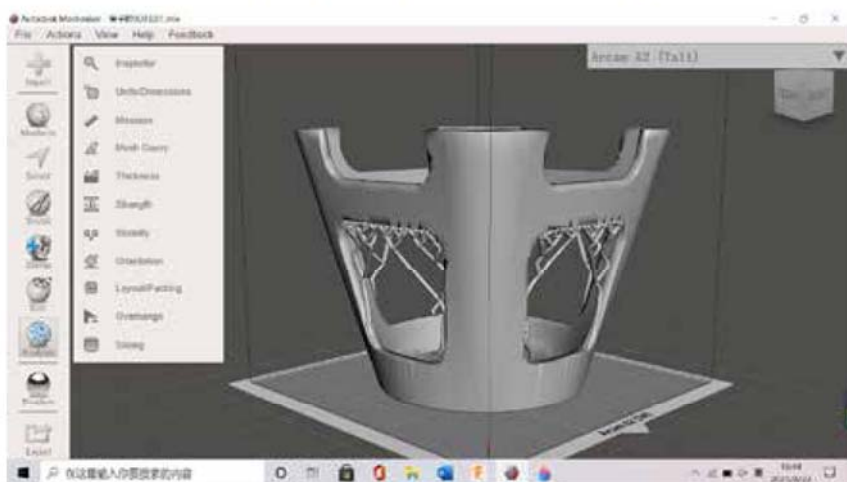


图 2-29

2.2.8 工程图工作空间

进入工程图工作空间，可以从三维几何图元创建标准的二维工程图。工程图工作空间生成与 3D 模型关联的 2D 图纸，当 3D 模型有任何更新时，可以将工程图纸自动更新。

Fusion 可以直接打开 AutoCAD 文件。AutoCAD 中的二维图纸会直接转换成 Fusion 360 中的草图。同时用户还可以直接在 Fusion 360 中将三维模型生成 AutoCAD 二维图纸。鉴于这两款软件都是 Autodesk 产品，能相互转换也是理所当然的，如图 2-30 所示。

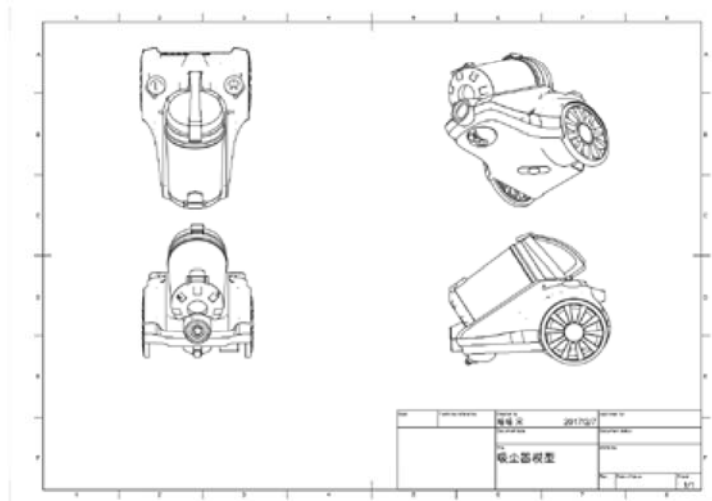


图 2-30

2.2.9 管理与协同

(1) 追踪、批注和共享

依据项目进程追踪和批注设计，并与其他团队成员在 Web 上共享数据，如图 2-31 所示。

(2) 版本管理

在同一个位置上存储和管理所有的设计数据，自动保存或手动地进行版本管理，如图 2-32 所示。

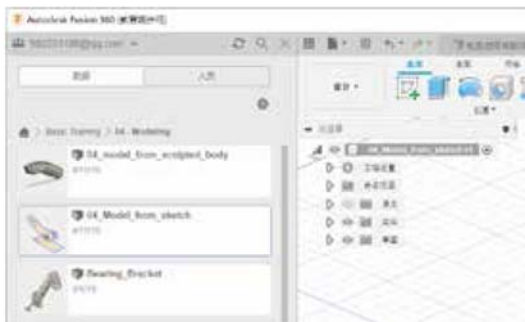


图 2-31

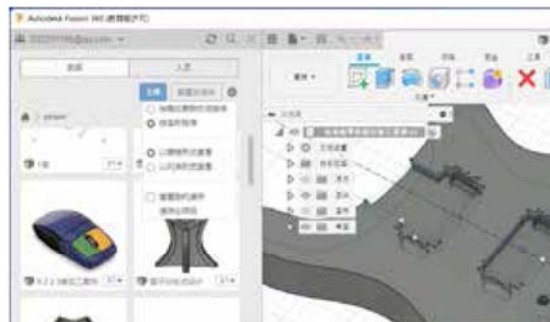


图 2-32

(3) 移动预览和管理

通过免费的 A360 App 或者直接应用移动设备的 Web 浏览器便可轻松地访问数据，如图 2-33 所示。

(4) 分享和云端数据管理

在更大的社区分享您的设计，或者安全地分享链接。打开 Fusion 360 软件，你首先看到的就是云面板。“上传”可以把你电脑里已经有的文件上传到 Autodesk 云中。“创建”可以创建新的工程和设计文件等。在创建工程时，需要注意你的工程隐私设置。这是一个注重协作和分享的时代，如果不想你的模型被别人使用和修改的话可以设置为“Secret”。同时云面板还支持另一项比较流行的技术“云渲染”，如图 2-34 所示。

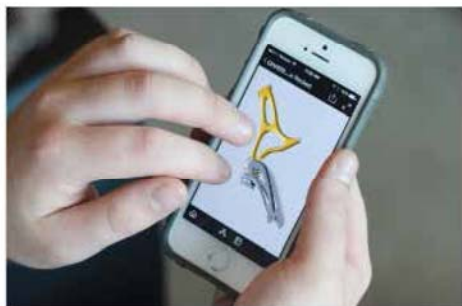


图 2-33

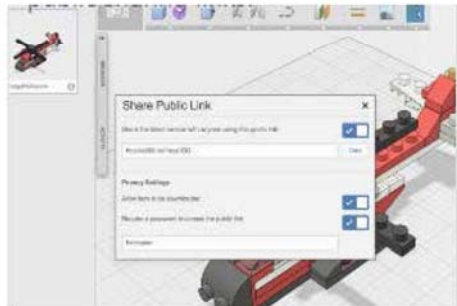


图 2-34

2.3 草图绘制

2.3.1 草图基础

草图中的功能大致可以分为几类，一是基本形状，比如线、圆、椭圆、样条线、文字等；二是确定大小和位置关系，比如尺寸、约束等；三是编辑和修改，比如修剪、缩放等；还有一类是基于已有对象生成新的草图对象，比如镜像、阵列、投影、偏移等。

另外，草图中很重要的一个底层功能是草图求解器，虽然在软件界面中我们看不到，但是求解器是保证草图对象能按期望工作的基础。

选择“创建草图”命令，选择草图绘制的平面：XY 平面、XZ 平面、YZ 平面，如图 2-35 所示。

进入草图环境。在视图右侧有草图选项板，如图 2-36 所示。

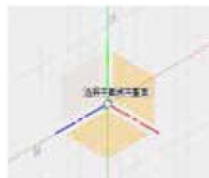


图 2-35

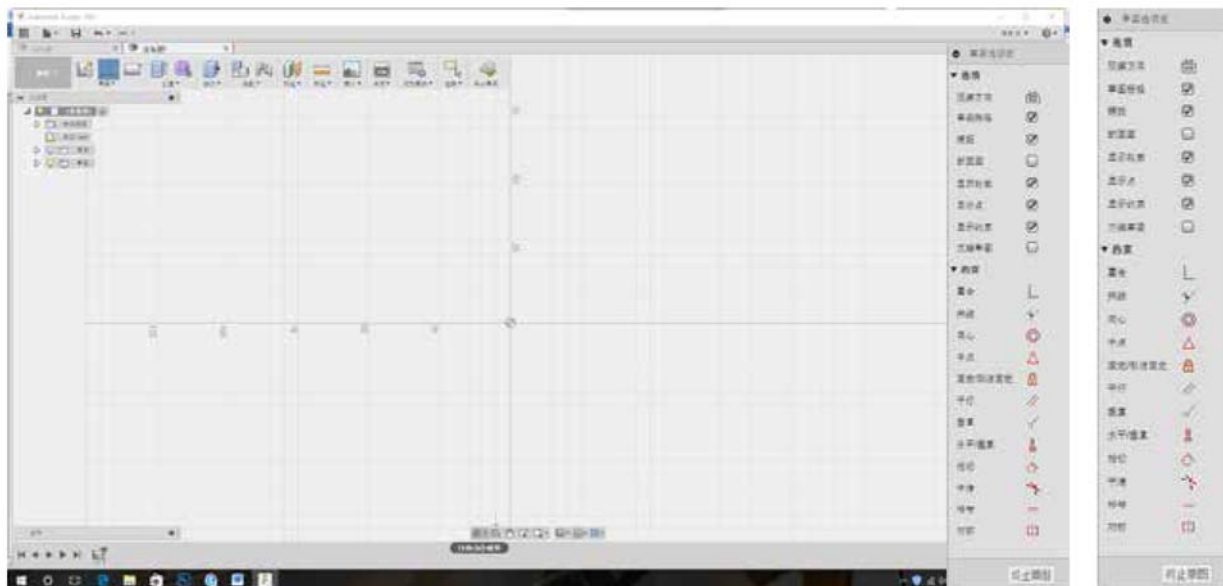


图 2-36

Fusion 360 中的草图命令包括自由线与几何线，其中自由线包括直线、样条曲线、圆锥曲线等；几何线包括矩形、圆、圆弧、多边形、椭圆和槽等。除此之外，“草图”菜单下还包括了一些修改草图的命令，如圆角、修剪、延伸、断开、草图缩放、偏移、镜像、阵列和投影等。其中阵列又包括环形阵列、矩形阵列，还可以测量草图尺寸，如图 2-37 所示。

(1) **创建草图**：在选定的平面或平整面上创建草图。

(2) **直线**：创建直线和圆弧，选择起点和终点以定义一条线段，单击并拖动线段的端点以定义圆弧，如图 2-38 所示。

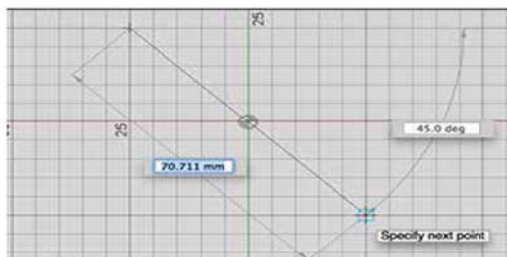


图 2-38

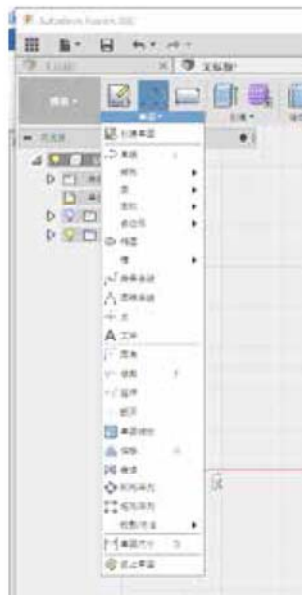


图 2-37

(3) **矩形**: 包括两点矩形、三点矩形和中心矩形。

- **两点矩形**: 使用对角线的两个点创建矩形。选择第一个点作为矩形的起点, 然后选择第二个点。或者指定矩形的宽度和高度值。
- **三点矩形**: 使用三个点创建矩形以定义宽度、方向和高度。选择第一个点作为矩形的起点, 然后选择第二个点或者指定距离值并拾取一个点, 再选择第三个点或指定距离值。
- **中心矩形**: 使用两个点定义中心和一个拐角以创建矩形。选择第一个点作为矩形的中心, 选择拐角或者指定宽度和高度值。

(4) **圆**: 包括中心直径圆、两点圆、三点圆、两切线圆和三切线圆。

- **中心直径圆**: 使用圆心和直径创建一个圆。选择以定义圆心, 然后指定直径。
- **两点圆**: 创建由两个点定义的圆。在圆的直径上指定两个点。
- **三点圆**: 通过三个点创建圆。在圆的圆周上指定三个点。这些点用于定义圆的大小和位置。
- **两切线圆**: 创建与两条草图线相切的圆。选择两条直线, 然后指定圆的半径。
- **三切线圆**: 创建与三条草图线相切的圆。选择与圆相切的三条直线。

(5) **圆弧**: 包括三点圆弧、圆心圆弧和相切圆弧。

- **三点圆弧**: 使用三个点创建圆弧。选择起点、终点, 然后在圆弧上选择一个点。
- **圆心圆弧**: 使用三个点创建圆弧。选择起点、中心点, 然后选择终点或指定角度值。
- **相切圆弧**: 创建相切的圆弧。选择两个相切点。

(6) **多边形**: 包括外切多边形、内接多边形和边多边形。

- **外切多边形**: 使用中心点和一条边的中心点创建多边形。选择多边形的中心点, 指定侧面的数值, 选择一条边的中点, 或者指定距离, 然后选择点。
- **内接多边形**: 使用中心点和顶点创建多边形。选择多边形的中心点, 指定边数值。选择顶点, 或者指定距离, 然后选择点。
- **边多边形**: 通过定义多边形的一条边和位置创建多边形。选择一条边的起点和终点, 或者选择起点, 然后指定距离和角度。指定多边形的边数, 选择定义多边形的方向。

(7) **椭圆**: 创建由中心点、长轴和椭圆上的一个点定义的椭圆。选择椭圆的中心点, 选择第二个点以定义第一条轴, 选择第三个点以在椭圆上定义点。

(8) **槽**: 包括中心到中心槽、整体槽和中心点槽。

- **中心到中心槽**: 创建由槽弧圆心位置以及槽宽度定义的线性槽。指定两个槽弧的圆心, 单击以指定槽宽度或者输入槽弧的直径。
- **整体槽**: 创建由方向、长度、宽度定义的线性槽。指定槽中心线的起点和终点。单击以指定槽宽度, 或者输入槽弧直径。
- **中心点槽**: 创建由中心点、槽弧圆心位置、槽宽度定义的线性槽。指定槽中心并放置槽弧圆心。单击以指定槽宽度, 或者输入槽弧直径。

(9) **样条曲线**: 创建穿过选定点的样条曲线。选择第一个点以开始创建样条曲线, 选择其他点作为拟合点。

(10) **圆锥曲线**: 创建由端点和 Rho 值驱动的曲线。根据 Rho 值, 该曲线可以是椭圆、抛物线或双曲线。选择起点、终点, 然后选择顶点的顶部。使用引导线创建相切约束, 指定 Rho 值以获得所需形状的圆锥曲线。

(11) **点**: 创建草图点。

(12) **文本**: 将文本插入到激活草图中。使用文本作为轮廓创建三维几何图元。选择插入点并输入文本。在“文本”对话框中修改文本格式。

(13) **圆角**: 在两条直线或圆弧的交点处放置指定半径的圆弧。选择顶点或两条线或圆弧, 指定圆角半径。

(14) **修剪**: 将草图曲线修剪到最近的相交曲线或边界几何图元。将光标悬停在曲线上以预览要修剪的部分, 选择要修剪的曲线。

(15) **延伸**: 将曲线延伸到最近的相交曲线或边界几何图元。将光标悬停在曲线上以预览要延伸的部分, 选择曲线以进行延伸。

(16) **断开**: 将曲线实体打断为两个或更多部分。将光标悬停在要从整条曲线打断的线段上方将显示预览, 然后选择要打断的曲线。

(17) **草图缩放**: 缩放草图几何图元。选择要缩放的草图几何图元, 然后指定比例系数。

(18) **偏移**: 在距原始曲线的指定距离处复制选定的草图曲线。选择要偏移的曲线, 然后指定偏移距离。

(19) **镜像**: 以选定的草图线为对称线, 镜像选定的草图曲线。选择要镜像的曲线, 然后选择镜像用的对称线。

(20) **阵列**: 将指定的草图曲线复制到圆弧或环形阵列中。选择要阵列化的曲线, 并选择绕其旋转的点并设置数量。

(21) **投影**: 将实体轮廓、边、工作几何图元和草图曲线投影在激活的草图平面上。使用选择过滤器投影特定类型的几何图元或实体轮廓。

(22) **草图尺寸**: 创建草图几何图元的草图尺寸。使用尺寸可控制草图对象的大小或位置。选择要标注尺寸的草图曲线, 然后选择一个区域以放置尺寸。

2.3.2 草图绘制基本原则

在实际操作中, 如果草图没有呈现出期望的结果, 很有可能是求解器在处理时给出了不符合期望的结果。

从软件研发的角度来考虑, 当然是能处理越多的情况越好。但是, 软件是人编写的, 所以软件像人脑一样, 在处理复杂问题的情况下, 就可能由于考虑不周而出错。所以, 从用户的角度来看, 草图中的基本原则就是“逻辑越简单, 处理起来越可靠”。

逻辑简单表现在两个方面: 单看一张草图时, 草图是不是清楚易读, 是不是容易厘清图中线条的关系; 草图和外界元素有关联时 (比如投影关系), 关联传递是不是简单可靠。

清楚易读可以理解为一张草图中不要包含太多的内容。尽量按照特征功能划分为几张草图, 避免一张图中出现几百甚至上千个对象。

当模型复杂时, 按照自顶向下的思路层层分解, 布局草图中只包含关键的图线, 然后在细节草图中投影布局草图的图线, 添加细节。

草图中的圆角、阵列一般可以放到实体上做。

草图中需要和外部建立关联时, 尽量优先考虑坐标系, 因为坐标系是不会变的, 这样的关联关系是最稳定的; 其次考虑尺寸传递; 最后考虑投影几何元素。另外, 一张图中, 如果投影一次就可以满足要求, 就尽量避免投影很多不必要的线条。

必要的时候, 自动投影的线条可以删掉, 手动投影自己需要的线条。

2.3.3 实例探讨

【例 1】使用水平竖直约束和平行垂直约束画一个矩形时, 我们可以用矩形命令一次画出 (见图 2-39 左), 也可以用直线命令依次画出 4 条边 (见图 2-39 右)。这两种方式有什么区别呢?

左侧的线条是添加了水平和竖直的约束, 任何一条线上只要有了这样的约束, 该线的方向就能确定下来; 而右侧的线条用的是垂直约束, 垂直是描述两条线之间的位置关系。当需要判断有垂直约束的线条的方向时, 就需要考虑和它有垂直关系的线条。比如, 在判断右侧线条 1 的方向时, 需要先判断与其

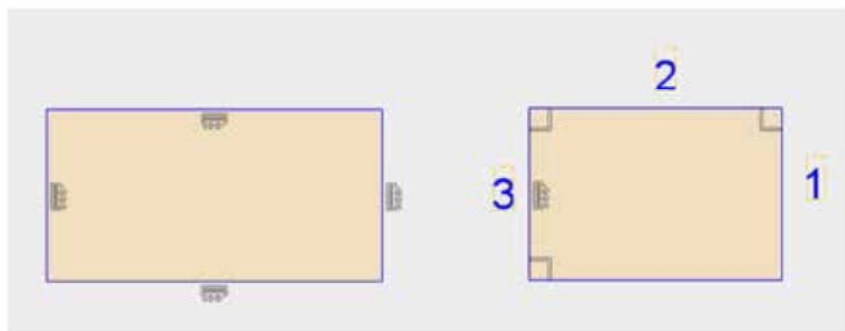


图 2-39

垂直的线条 2 的方向是不是能确定下来；而在判断线条 2 的方向时，需要先判断线条 3 的方向是不是能确定下来。这样一个关系链显然要比左图复杂一些，约束多的时候可能会给读图带来一点困难，特别是两条线相距较远时。

但是，平行和垂直约束的优势是可以保持两条线之间的关系，当其中一条线的方向改变时，另外一条线会跟随变化。所以，这两种方式没有优劣的区别，到底用哪个约束要具体情况具体分析，大部分情况下两者差别不大。另外，有时候自动感应出来的约束未必是适合的，需要手动调整。

【例 2】使用相等约束画轴线对称的图形，如图 2-40 所示。左侧是先画矩形，再添加中线；右侧是先画两个小矩形，再用相等约束保证虚线是对称轴。

首先从线条数量来看，左侧 5 条，右侧 7 条，左侧简单一些。同时，左侧的约束数量也少于右侧，而且相等约束是属于两个对象之间的约束，在计算时要同时考虑两个对象。所以左侧的图在计算时占用的计算机资源更少，运行速度更快。在满足要求的前提下，应该尽量用左侧这种方式。

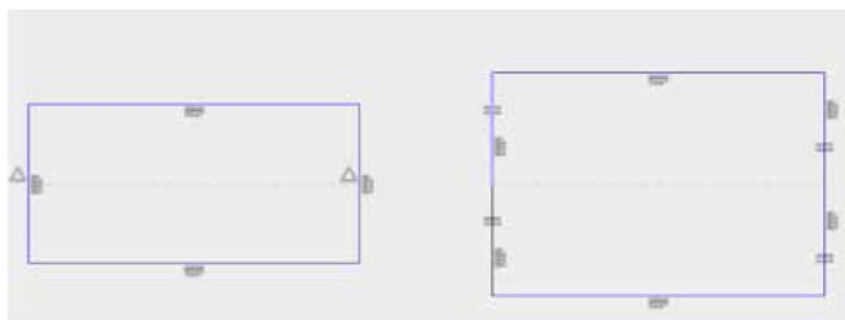


图 2-40

【例 3】使用约束与尺寸绘制几个相等的圆，如图 2-41 所示。左侧的两个圆用相等约束来保证等直径，右侧用尺寸来保证。

首先，相等约束在计算时会考虑两个对象，占用资源相对更多；其次，图形复杂时，相等约束不太直观，只有鼠标悬停在约束图标上时才会高亮显示两个对象。而右侧的两个圆在标注尺寸时使用了表达式，等于第一个圆的参数。尺寸的传递是参数化建模的基础，这样的关联传递是非常可靠的，而且可以直观地看出这几个圆是等直径的。建议用尺寸来传递这样的相等关系。

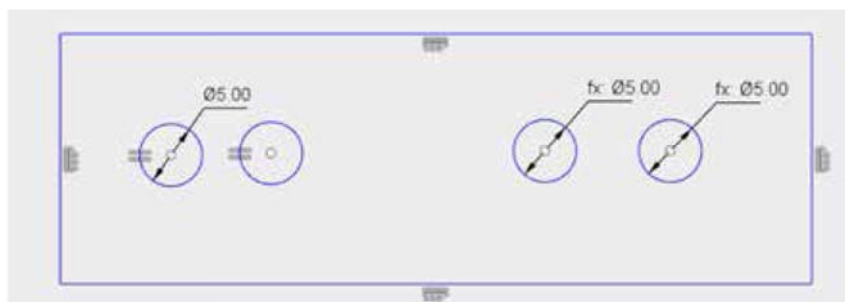


图 2-41

2.4 建模基础

参数化建模命令包括创建、修改、装配、构造、检验、插入、生成等命令集，如图 2-42 所示。其中装配命令集我们结合工程图模块一起介绍，生成命令集我们在 3D 打印中介绍。



图 2-42

2.4.1 创建命令集

创建命令集包括拉伸、旋转、扫掠、放样、加强筋、网状加强筋、孔、螺纹、长方体、圆柱体、球体、圆环体、螺旋、管道、阵列、镜像、加厚、边界填充、创造型、创建基础特征、创建网格，如图 2-43 所示。

(1) **拉伸**: 为闭合的草图轮廓或平整面增加深度。选择轮廓或平整面, 然后指定要拉伸的距离, 如图 2-44 所示。

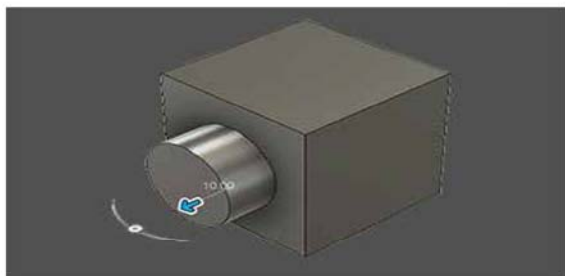


图 2-44

(2) **旋转**: 绕选定轴旋转草图轮廓或平整面。选择草图轮廓或平整面, 然后选择要围绕其旋转的轴, 如图 2-45 所示。

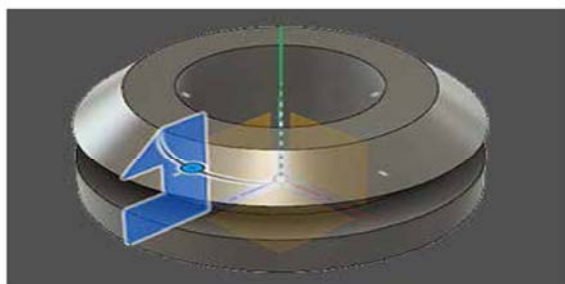


图 2-45



图 2-43

(3) **扫掠**: 沿选定的路径扫掠草图轮廓或平整面。选择一系列草图轮廓或平整面以定义形状, 选择轨道或中心线以引导形状, 如图 2-46 所示。

(4) **放样**: 在两个或更多草图轮廓或平整面之间创建过渡形状。选择一系列草图轮廓或平整面以定义形状, 选择轨道或中心线以引导形状, 如图 2-47 所示。

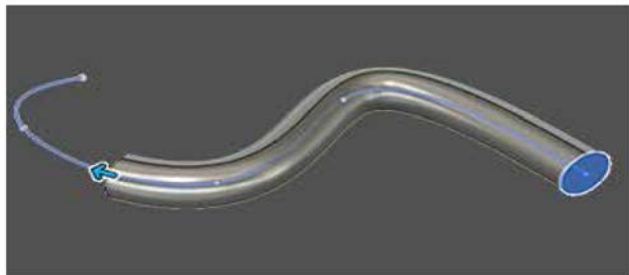


图 2-46

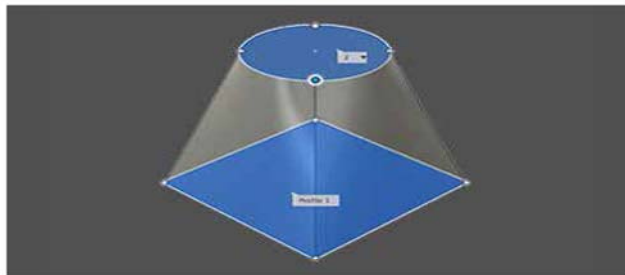


图 2-47

(5) **加强筋**: 使用开放的草图曲线创建薄壁特征。将平行于平面创建加强筋。选择曲线, 然后指定厚度, 如图 2-48 所示。

(6) **网状加强筋**: 使用开放的草图曲线创建薄壁特征。将垂直于平面创建网状加强筋。选择曲线, 然后指定厚度, 如图 2-49 所示。

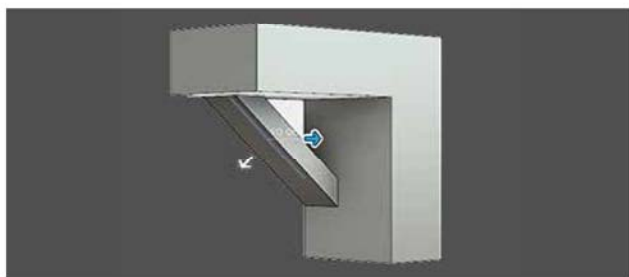


图 2-48

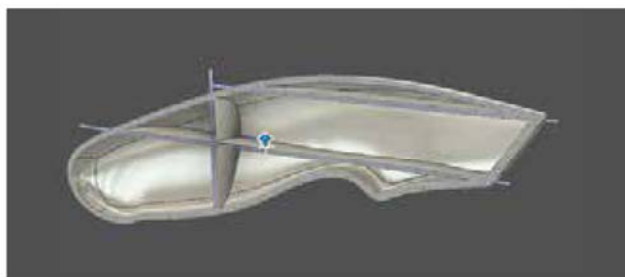


图 2-49

(7) **孔**: 根据用户指定的值和选择创建孔。选择面以放置孔, 然后选择边以在面上定位孔, 指定孔类型和尺寸值, 如图 2-50 所示。

(8) **螺纹**: 为圆柱几何图元添加内螺纹和外螺纹。螺纹在几何图元上可以起示意作用或者塑造在几何图元上, 如图 2-51 所示。

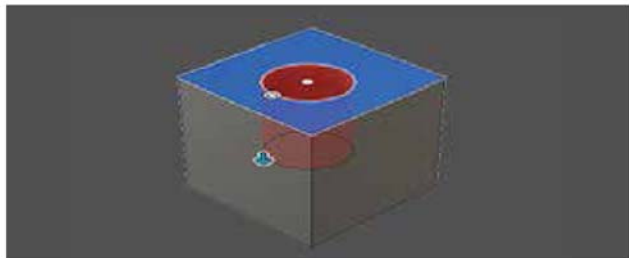


图 2-50

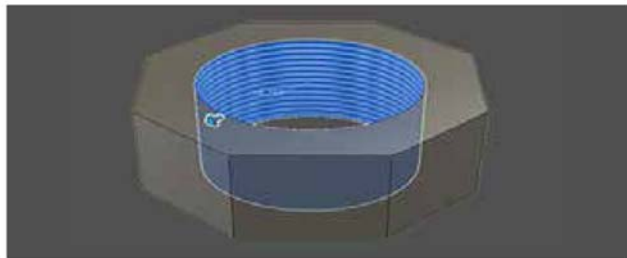


图 2-51

(9) **长方体**: 创建实心长方体。选择平面, 绘制矩形, 然后指定长方体的高度, 如图 2-52 所示。

(10) **圆柱体**: 创建实心圆柱体。选择平面, 绘制圆形, 然后指定圆柱体的高度, 如图 2-53 所示。

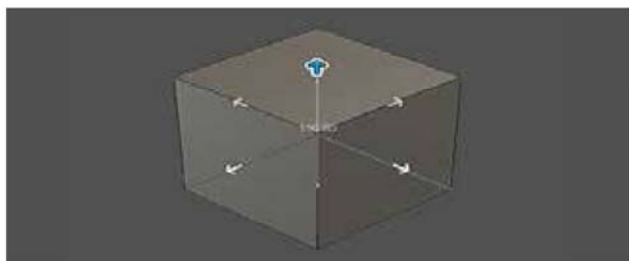


图 2-52



图 2-53

(11) **球体**: 创建实心球体。选择平面, 然后指定球体的中心点和直径, 如图 2-54 所示。

(12) **圆环体**: 创建实心圆环体。选择平面, 然后指定圆环体的轴的圆心和直径, 如图 2-55 所示。



图 2-54

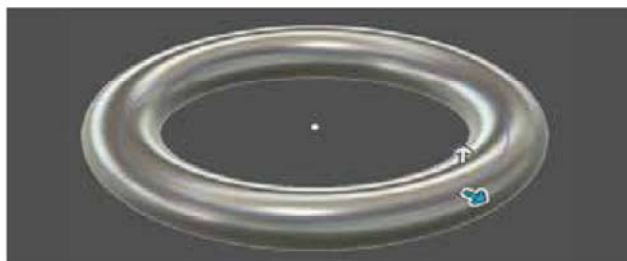


图 2-55

(13) **螺旋**: 创建实心螺旋实体。选择平面, 然后绘制圆以指定螺旋的大径, 使用操纵器或对话框完成螺旋定义, 如图 2-56 所示。

(14) **管道**: 创建走向沿选定路径的实心管道。选择路径, 然后指定截面和大小, 如图 2-57 所示。



图 2-56



图 2-57

(15) **阵列**: 包括矩形阵列、环形阵列和路径阵列。

- **矩形阵列**: 创建重复的面、实体、特征和零部件, 并按行和列排列它们。选择要阵列化的对象, 然

后指定方向、数量和距离，如图 2-58 所示。

- **环形阵列：**创建重复的面、实体、特征和零部件，并按环形和圆弧阵列排列它们。选择要阵列化的对象，然后选择要绕其旋转的轴以及数量，如图 2-59 所示。

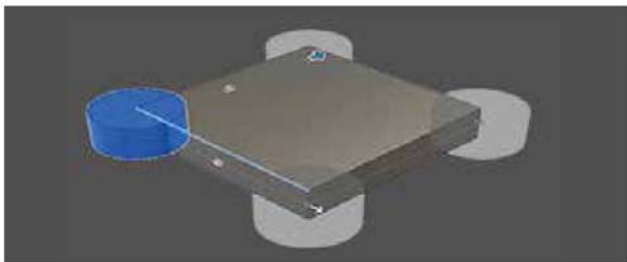


图 2-58

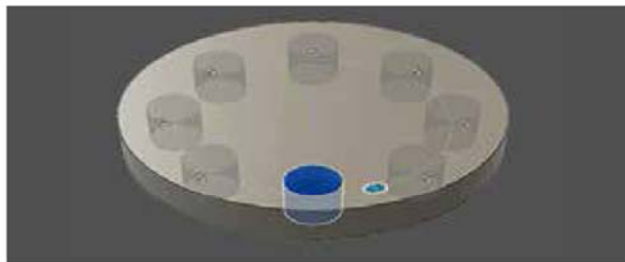


图 2-59

- **路径阵列：**创建重复的面、实体、特征和零部件，并沿路径列排列它们。选择要阵列化的对象以及阵列路径，并指定距离和数量，如图 2-60 所示。

(16) **镜像：**跨平面以相等的距离创建选定面、实体、特征和零部件的镜像副本。选择要镜像的对象，然后选择镜像用的对称平面，如图 2-61 所示。

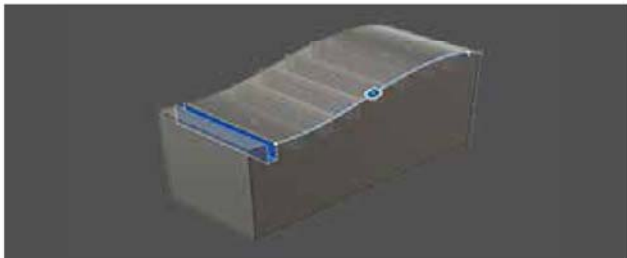


图 2-60

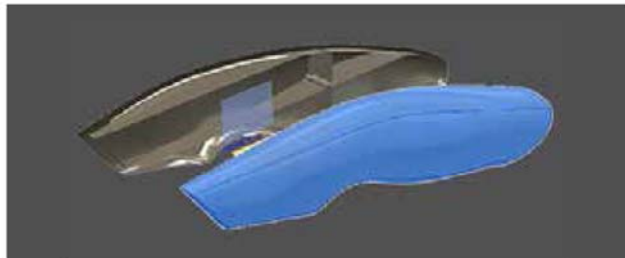


图 2-61

(17) **加厚：**为曲面表面添加厚度以使其成为实体。选择要加厚的面，然后指定厚度值，如图 2-62 所示。

(18) **边界填充：**使用通过选择的刀具形成的包围体积创建、连接或移除体积。选择实体、曲面或工作平面作为刀具以形成体积（或单元）。这些单元可用于切割现有实体，并合并到现有实体中，或者创建新实体，如图 2-63 所示。



图 2-62

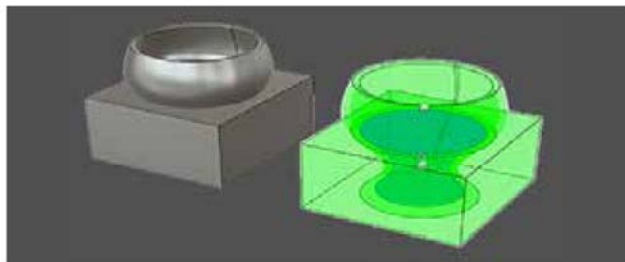


图 2-63

(19) **创建造型：**插入造型操作到时间轴中并进入“造型”工作空间，当形状比精确更重要时，应使用“造型”命令。单击“完成造型”按钮返回到“模型”工作空间，如图 2-64 所示。

注意

使用“创建造型”命令进入的“造型”工作空间，就是我们接下来要介绍的“T 样条建模（T-Splines modeling）技术”。

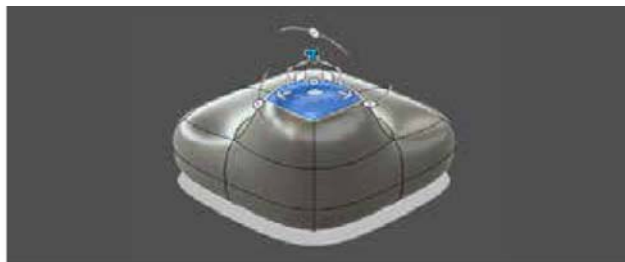


图 2-64

(20) **创建基础特征**: 将基础特征操作插入到时间轴中。与基础特征操作同时执行的任何操作都不会被记录到时间轴中。单击“完成基础特征”按钮返回到“模型”工作空间。

(21) **创建网格**: 将网格特征操作插入到时间轴中并进入“网格”工作空间, 使用“网格”工作空间可修改和修复网格几何图元。单击“完成网格”按钮返回到“模型”工作空间。

2.4.2 修改命令集

“修改”命令集包括推拉、圆角、规则圆角、倒角、抽壳、拔模、缩放、合并、替换面、分割面、分割实体、轮廓分割、移动/复制、对齐。其中修改命令集中还包括一些外观命令: 物理材料、外观、管理材料、删除、全部计算、更改参数, 如图 2-65 所示。这里我们只介绍用于模型修改的命令。

(1) **推拉**: 使用偏移、拉伸或圆角命令修改选定的几何图元。该操作取决于选定的几何图元, 如图 2-66 所示。

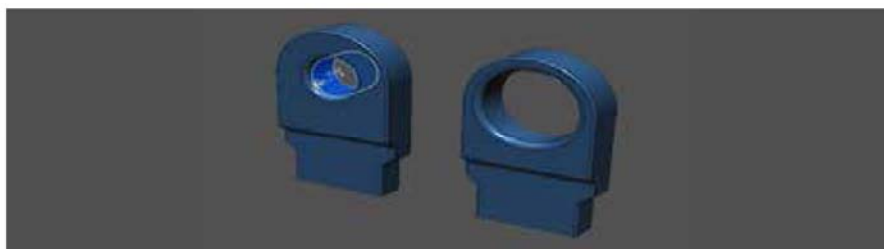


图 2-66



图 2-65

(2) **圆角**: 为一个或多个边添加圆角。选择目标边, 然后指定半径值, 如图 2-67 所示。

(3) **规则圆角**: 基于指定的规则而不是基于指定的边来添加圆角或圆边。选择面或特征, 然后指定半径, 将对面或特征的所有边应用圆角, 如图 2-68 所示。



图 2-67

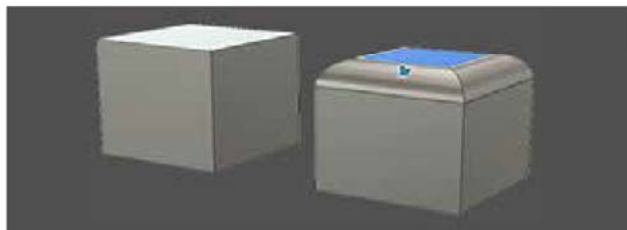


图 2-68

(4) **倒角**: 为一个或多个边添加倒角。选择目标边, 然后指定距离。注意: 这里的倒角倒的是切角, 如图 2-69 所示。

(5) **抽壳**: 从零件内部移除材料, 从而创建一个具有指定厚度的空腔。选择面, 然后指定厚度, 选定的面将被删除, 并且实体将变成空心, 如图 2-70 所示。

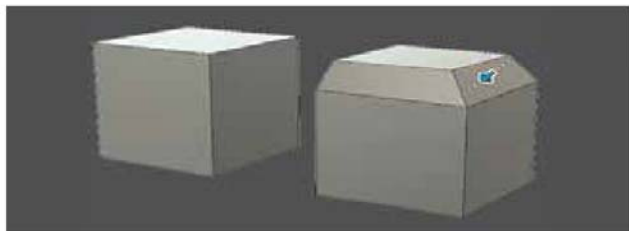


图 2-69

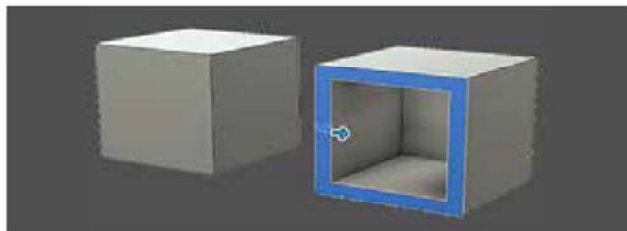


图 2-70

(6) **拔模**: 对平整面应用固定拔模斜度或分模线拔模斜度。选择拉伸方向、分模工具和要拔模得面, 然后指定拔模斜度, 如图 2-71 所示。

(7) **缩放**: 缩放草图、对象或零部件。选择要缩放的对象, 然后指定比例系数, 如图 2-72 所示。

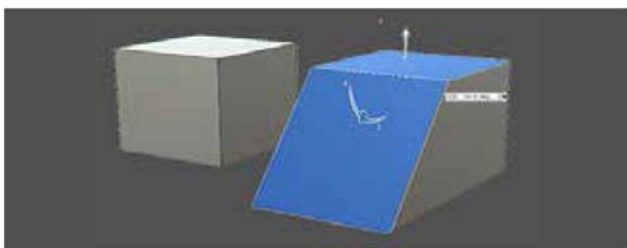


图 2-71

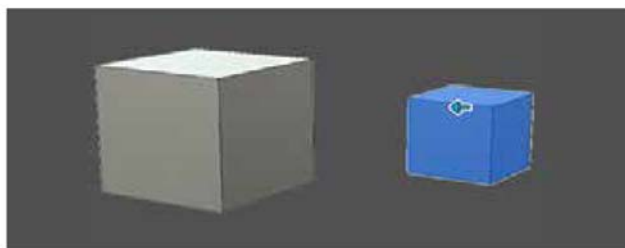


图 2-72

(8) **合并**: 在实体之间执行布尔运算。选择目标实体, 然后选择一个或多个工具实体以在目标上执行并集、差集和交集运算, 如图 2-73 所示。

(9) **替换面**: 使用其他面替换一个或多个零件面。新面必须与零件面相交。选择要移除的面, 然后选择新面, 如图 2-74 所示。



图 2-73

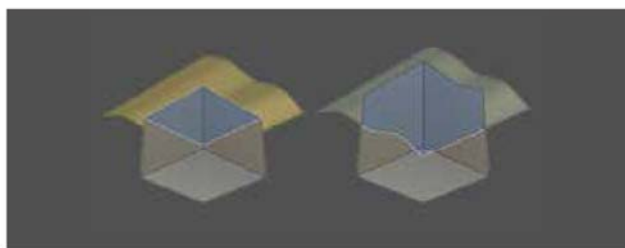


图 2-74

(10) **分割面**: 使用选定的面、轮廓或平面作为切割工具来分割面。选择要修改的面, 然后选择分割源面的轮廓、面或平面, 如图 2-75 所示。

(11) **分割实体**: 通过使用面、轮廓或平面分割选定的实体以创建新实体。选择要修改的实体, 然后选择分割实体的轮廓、面或平面, 如图 2-76 所示。

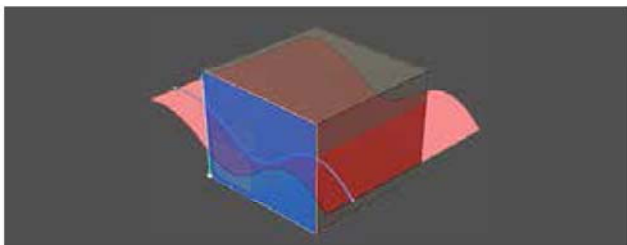


图 2-75

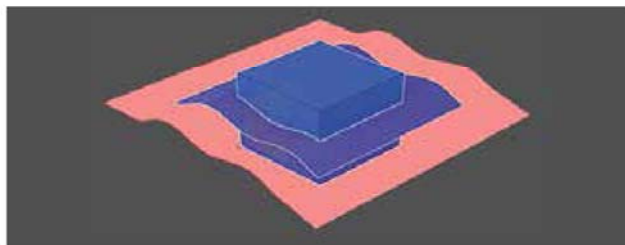


图 2-76

(12) **轮廓分割**: 使用从实体的分模线生成的曲面来分割该实体。通过选择平面或轴设置视图方向, 然后选择实体, 再选择分割操作, 如图 2-77 所示。

(13) **移动/复制**: 将选定的面、实体、草图或构造几何图元移动指定的距离或角度。选择要修改的对象, 然后指定距离或角度。使用“设置轴心”操作以重新定位操作器, 如图 2-78 所示。

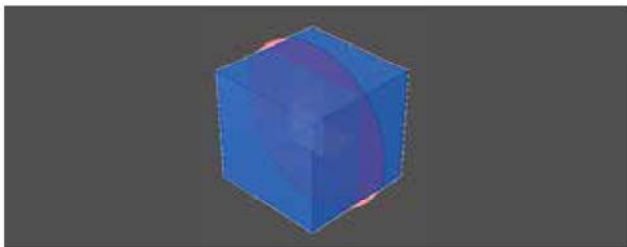


图 2-77

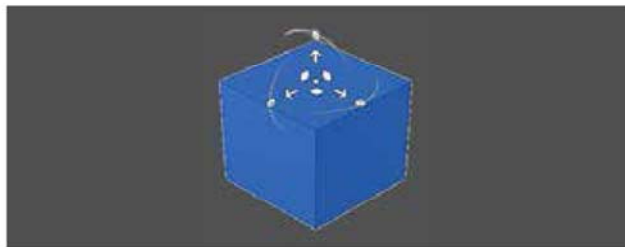


图 2-78

(14) 对齐：通过将从对象选择的几何图元与在其他位置选择的几何图元对齐来移动对象（零部件、草图、实体、工作几何图元）。几何图元可以是点、线、平面、圆或坐标系。在要移动的对象上选择点，然后在要对齐的面上选择点，单击“反转”和“角度”按钮以旋转对象，如图 2-79 所示。

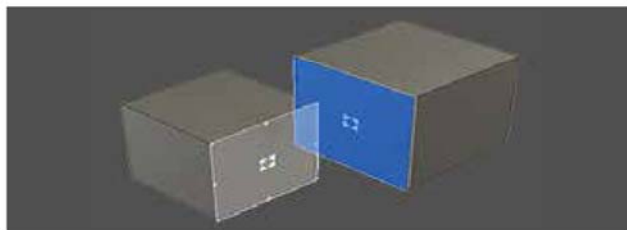


图 2-79

2.4.3 装配命令集

无论是参数化建模、T 样条建模还是曲面建模，所设计的模型实体都将转换生成为零件，组装成部件，才能形成一个完整的产品。Fusion 360 的装配命令能够很清晰地表达零部件之间的关系，并可以结合动画模块制作装配动画。

Fusion 360 支持基于联结的装配技术。这种装配方式非常简单易用。传统的装配会添加过多的元约束，影响用户体验。而基于联结的装配却从相反的方向来考虑装配：零件的自由度。自由度越高约束越少；自由度越低则约束越多。对一个大模型来说，使用这种基于自由度的联结装配方式，能够大量减少元约束的数量，提高设计的效率。

在同一设计环境中组装零部件，可以基于同一坐标点进行零部件组装，也可以设置各种不同的关节类型，如回转、滑块、圆柱形、销槽平板以及球形等。用户还可以对关节的运动限制进行设置，做精确的移动数值设置，并可实时预览运动，如图 2-80 所示。



图 2-80

2.4.4 构造命令集

构造命令集包括偏移平面、夹角平面、相切平面、中间平面、通过两条边创建平面、通过三点创建平面、在曲面某点上创建相切平面、沿路径的平面、通过圆柱体/圆锥体/圆环体创建轴、在平面某点上创建垂直轴、通过两个平面创建轴、通过两点创建轴、通过边创建轴、在平面某点上创建面垂直轴、位于顶点处的点、通过两条边创建点、通过三个平面创建点、位于圆/球体/圆环体中心的点、边和平面上的点 19 种命令，如图 2-81 所示。



图 2-81

(1) **偏移平面**: 创建从选定面或平面偏移得到的构造平面。选择面、平面或草图轮廓, 然后指定偏移距离, 如图 2-82 所示。

(2) **夹角平面**: 通过边、轴或线以指定角度创建构造平面。选择线性边、轴或草图以定位平面, 然后指定旋转角度。

(3) **相切平面**: 创建与圆柱体或圆锥体面相切的构造平面。选择将与平面相切的圆柱体或圆锥体, 通过输入角度或者先选择参考平面再添加角度来指定位置。

(4) **中间平面**: 在两个面或者工作平面的中点处创建构造平面。选择两个面或平面。

(5) **通过两条边创建平面**: 创建穿过两条线性边或轴的构造平面。选择两条边或轴, 边或轴必须共面。

(6) **通过三点创建平面**: 通过三个选定的构造点、草图点或顶点创建构造平面。选择三个点。

(7) **在曲面某点上创建相切平面**: 创建与面相切或点对齐的构造平面。选择面, 然后选择点或顶点。

(8) **沿路径的平面**: 创建与边或草图轮廓垂直的构造平面。选择路径, 然后沿路径指定平面的位置。

(9) **通过圆柱体 / 圆锥体 / 圆环体创建轴**: 创建与圆柱面或圆锥面的中心轴重合的构造轴。选择圆柱体或圆锥体。

(10) **在平面某点上创建垂直轴**: 创建垂直于选定区域中选定面的构造线。在所需的区域处选择面。

(11) **通过两个平面创建轴**: 创建与两个平面或平整面的相交线重合的构造线。选择两个平面或平整面。

(12) **通过两点创建轴**: 创建穿过两个选定工作点、草图点或顶点的构造线。选择两个工作点、草图点或顶点。

(13) **通过边创建轴**: 从选定的线性边或草图线创建构造线。选择边或草图曲线。

(14) **在平面某点上创建面垂直轴**: 创建垂直于选定面并穿过选定点的构造线。选择面或草图轮廓, 然后选择点。

(15) **位于顶点处的点**: 在选定的点或顶点处创建构造点。选择点或顶点。

(16) **通过两条边创建点**: 在两条线性边或草图线的交点处创建构造点。

(17) **通过三个平面创建点**: 在三个平面或平整面的交点处创建构造点。选择三个平面或平整面。

(18) **位于圆 / 球体 / 圆环体中心的点**: 在球体或环形边的中心上创建构造点。选择环形边或球面。

(19) **边和平面上的点**: 在构造平面、平整面或草图轮廓和轴或草图线的交点处创建构造点。选择平面、平整面或草图轮廓和轴或草图线。

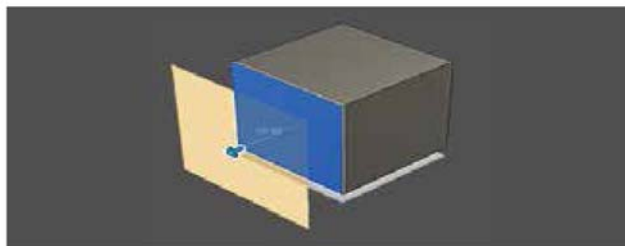


图 2-82

2.4.5 检验命令集

检验命令集包括测量、干涉、曲率梳分析、斑纹分析、拔模分析、曲率映射分析、截面分析、质心、零部件颜色循环切换命令, 如图 2-83 所示。

(1) **测量**: 报告选定对象的距离、角度、面积或位置数据。选择顶点、边、面、实体或零部件, 如图 2-84 所示。

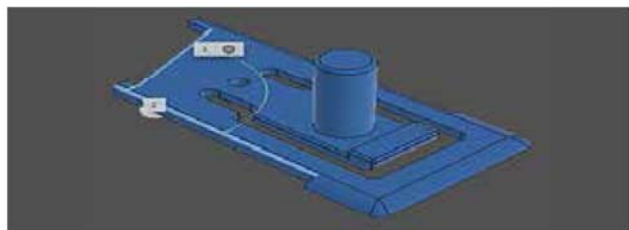


图 2-84

(2) **干涉**: 报告选定实体或零部件之间的干涉。选择零部件, 然后单击“计算”按钮, 选择“从干涉创建零部件”命令。

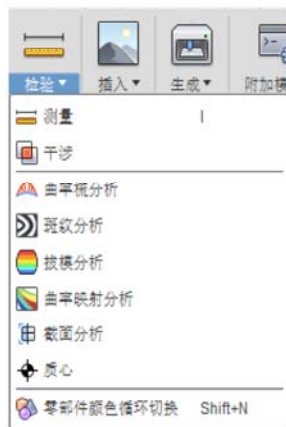


图 2-83

(3) **曲率梳分析**: 沿选定边显示样例点处的曲率值。选择要评估的边, 然后设置疏密度和比例。

(4) **斑纹分析**: 在选定的实体上显示条纹图案。使用“斑纹分析”来确定连续性。选择曲面, 然后设置分析选项。

(5) **拔模分析**: 在选定实体的面上显示颜色渐变, 以帮助评估设计的可制造性。

(6) **曲率映射分析**: 显示选定实体的面上的颜色渐变, 以帮助评估高曲面曲率和低曲面曲率的面积。选择要评估的实体, 使用选项以优化颜色渐变显示。

(7) **截面分析**: 在一个剖切平面上生成模型的剖面视图。选择要用作剖切平面的面或平面, 指定偏移和角度值以定位剖切平面。

(8) **质心**: 在选定对象的质心位置处显示图示符。用户可以测量从 COM 到设计中的其他对象之间的距离。选择要在质心计算中包含的零部件和实体。

(9) **零部件颜色循环切换**: 对每个零部件应用不同的颜色以帮助区分零部件。选择该命令可启用或禁用此设置。

2.4.6 插入命令集

插入命令集包括贴图、附着贴图、插入网格、插入 SVG、插入 DXF、插入 McMaster-Carr 零部件等命令, 如图 2-85 所示。

(1) **贴图**: 在选定面上放置图像。选择一个面, 然后选择要导入的图像, 如图 2-86 所示。

(2) **附着贴图**: 在平整面或草图平面上放置图像。选择一个面, 然后选择要导入的图像。

(3) **插入网格**: 将选定的 OBJ 或 STL 网格文件插入到活动设计中。选择要插入的 OBJ 或 STL 网格文件, 然后使用选项和操纵器确定网格的方向和位置, 如图 2-87 所示。



图 2-85



图 2-86

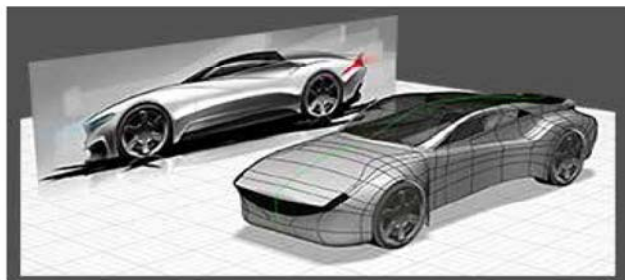


图 2-87

(4) **插入 SVG**: 将 SVG 文件导入到激活草图中。使用 SVG 文件可获得详细的草图, 如包含徽标或文字。

(5) **插入 DXF**: 将 DXF 文件导入到激活草图中。选择面或平面, 然后选择要插入的 DXF 文件, 在选定平面上设置几何图元的位置。

(6) **插入 McMaster-Carr 零部件**: 将 McMaster-Carr 零部件插入到活动文档中。浏览到所需的零部件, 单击“产品详细信息”CAD 图标, 选择文件类型, 然后单击“保存”按钮。

2.4.7 T 样条建模

Fusion 360 的内核是 ACIS (Autodesk 分支), 不过 Autodesk 在此内核中融入了 TSplines 内核。如果你想探讨有没有一种比 NURBS 建模还好的曲面建模技术, 那就是 TSplines。TSplines 跟 NURBS 相比, 极大地减少了模型表面控制点的数目, 可以很方便地进行局部细分, 提高了建模操作的速度, 是真正意义上可以替代 NURBS 建模的技术。因此对于爱好学习新技术的用户, 可以直接用 Fusion 360, 因为它从内核就直接集成了 TSplines 插件。

单击工具栏中的“创建造型”按钮，进入“造型”工作空间（见图 2-88）。这就是“T 样条建模（T-Splines modeling）技术”工作空间，如图 2-89 所示。

“T 样条建模”工具栏包括了创建命令集、修改命令集、对称命令集、实用程序命令集以及草图工具命令集等。由于草图工具命令集在前面已经介绍过，在这里就不重复讲解了。

1. 创建命令集

创建命令集包括长方体、平面、圆柱体、球体、圆环体、四分球、管道、面、拉伸、旋转、扫掠、放样等命令，如图 2-90 所示。

（1）长方体：创建 T 样条框。选择平面，然后绘制矩形，使用操纵器或输入数值指定高度和面数，如图 2-91 所示。

（2）平面：创建 T 样条平面。选择平面，然后绘制矩形，使用操纵器或输入数值指定高度和面数，如图 2-92 所示。

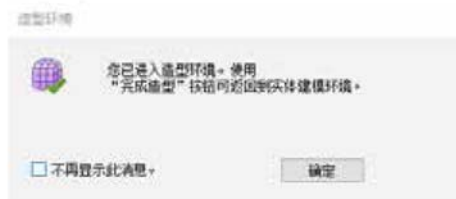
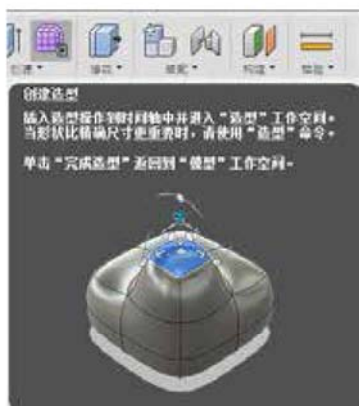


图 2-88

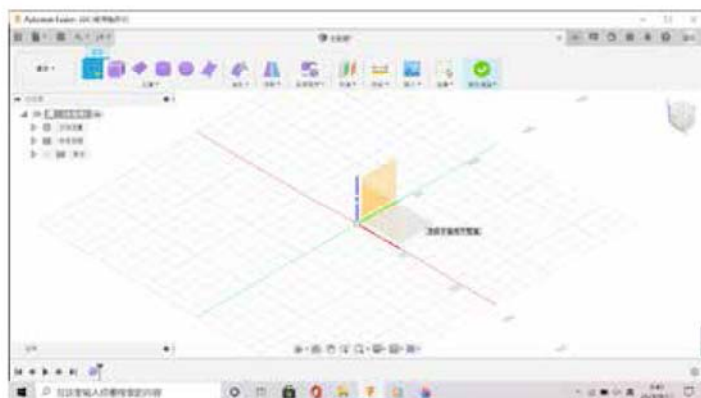


图 2-89



图 2-90

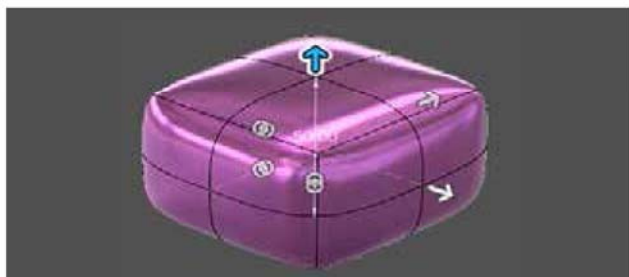


图 2-91

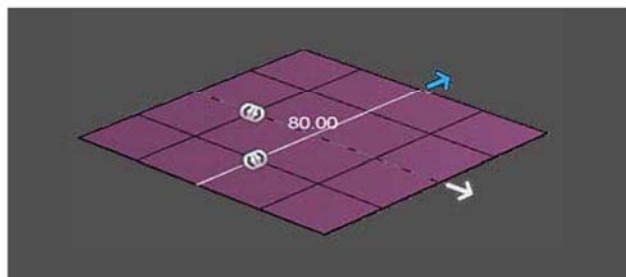


图 2-92

（3）圆柱体：创建 T 样条圆柱体。选择平面，然后绘制圆，使用操纵器或输入数值指定高度和面数，如图 2-93 所示。

（4）球体：创建 T 样条球体。选择平面，然后选择球体的中心点，使用操纵器或输入数值指定直径和面数，如图 2-94 所示。

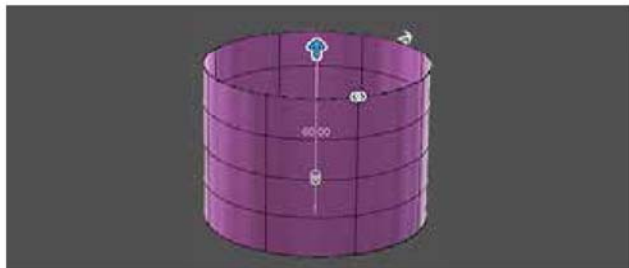


图 2-93

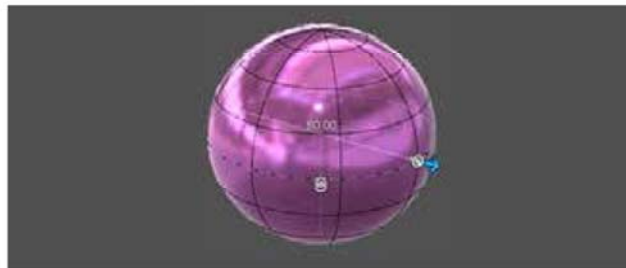


图 2-94

(5) **圆环体**: 创建 T 样条圆环体。选择平面, 然后绘制圆, 使用操纵器或输入数值指定大径、小径和面数, 如图 2-95 所示。

(6) **四分球**: 创建 T 样条四分球体。选择平面, 然后选择球体的中心点, 使用操纵器或输入数值指定直径和面数, 如图 2-96 所示。



图 2-95

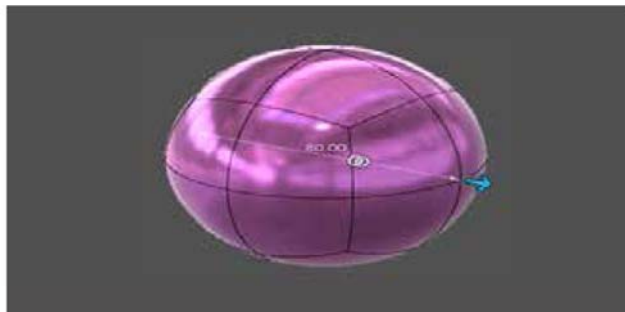


图 2-96

(7) **管道**: 基于选定曲线管理复杂拓扑的创建。路径可以是草图几何图元, 也可以是实体的边。选择输入路径, 指定全局直径, 然后修改截面、路径和面数, 如图 2-97 所示。

(8) **面**: 创建单个 T 样条面。选择平面开始定义顶点, 或者从 T 样条实体中选择顶点, 如图 2-98 所示。

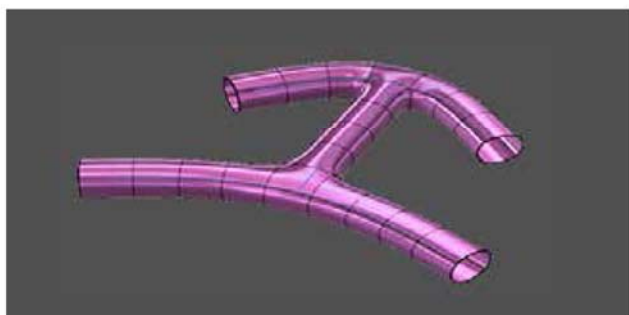


图 2-97

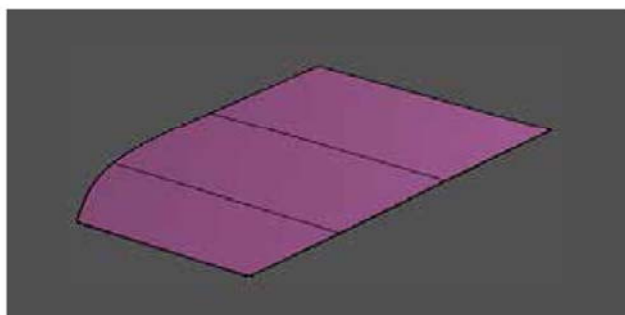


图 2-98

(9) **拉伸**: 通过沿矢量添加面, 创建或修改 T 样条实体。选择草图曲线、轮廓或面, 使用操纵器或输入数值指定距离和面数, 如图 2-99 所示。

(10) **旋转**: 通过围绕选定轴旋转边、草图或几何图元, 创建 T 样条实体。选择草图曲线、轮廓或面, 然后选择要围绕其旋转的轴, 使用操纵器或输入数值指定距离和面数, 如图 2-100 所示。



图 2-99

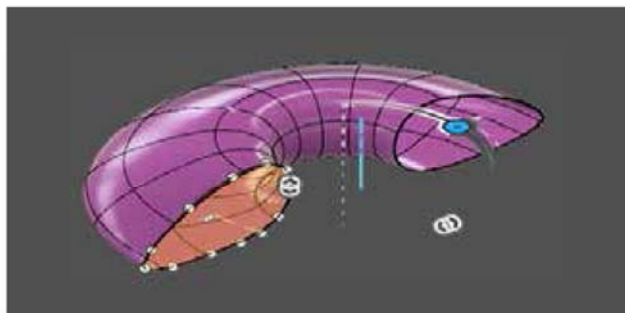


图 2-100

(11) **扫掠**: 通过沿着选定路径扫掠边、草图、曲线或几何图元, 创建 T 样条实体。选择草图曲线或轮廓, 然后选择要沿着扫掠的路径, 使用操纵器或输入数值指定百分比长度和面数, 如图 2-101 所示。

(12) **放样**: 在两个或更多草图轮廓或平整面之间创建过渡形状。至少选择两个轮廓以定义放样。通过使用轨道中心线导向曲线或点映射优化形状, 如图 2-102 所示。



图 2-101

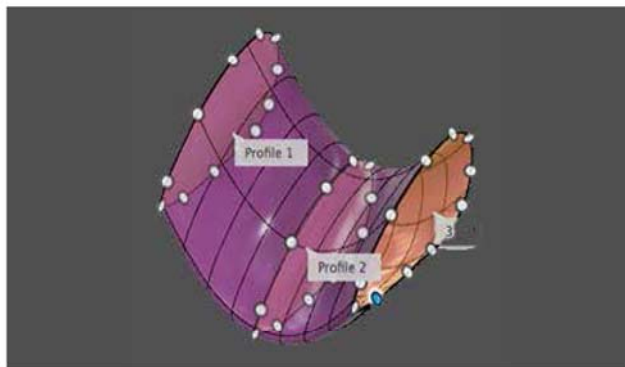


图 2-102

2. 修改命令集

修改命令集包括编辑形状、插入边、细分、插入点、合并边、桥接、补孔、焊接顶点、取消焊接边、锐化、取消锐化、倒角边、滑动边、拉伸、展平、匹配、插值、加厚、矩形等命令。和参数化建模一样，修改命令集中也包括一些外观命令：物理材料、外观、管理材料、删除。这里我们只介绍用于模型修改的命令，如图 2-103 所示。

(1) **编辑形状**：使用变换、旋转和缩放编辑来操纵面、边和顶点。选择面、边和顶点以启用操纵器，双击面或边选择回路。

(2) **插入边**：在原始边的指定位置处插入边（见图 2-104）。选择边或双击选择回路。

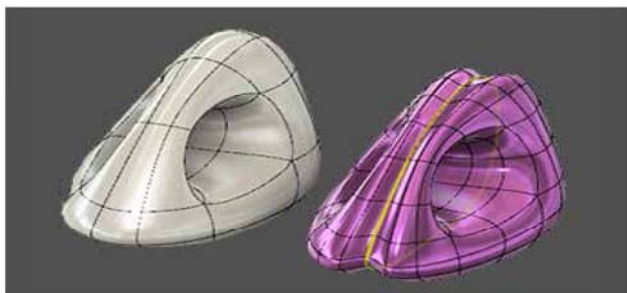


图 2-104

(3) **细分**：将一个或多个面划分为面的子集（见图 2-105）。选择要分割的面，按住 Ctrl 键（Windows）或 Command 键（Mac）以选择多个面。

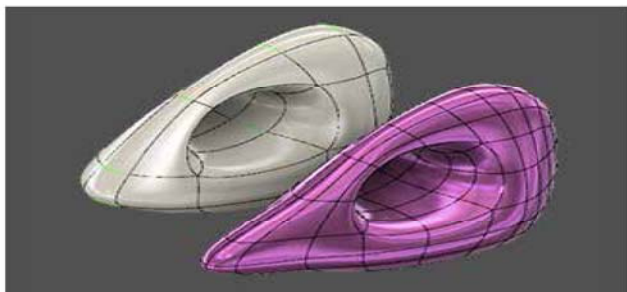


图 2-105

(4) **插入点**：通过选择两个点来插入边。在边上选择一点以开始，继续在边上选择点以分割多个面，如图 2-106 所示。

(5) **合并边**：将选定的第一组边与选定的另一组边对齐，如图 2-107 所示。



图 2-103

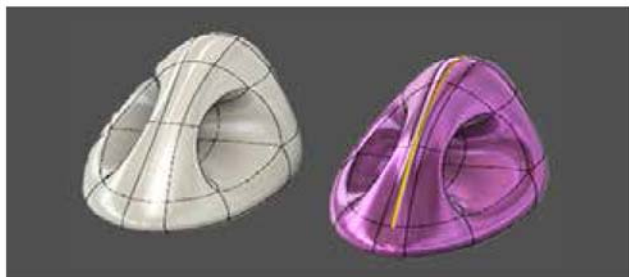


图 2-106

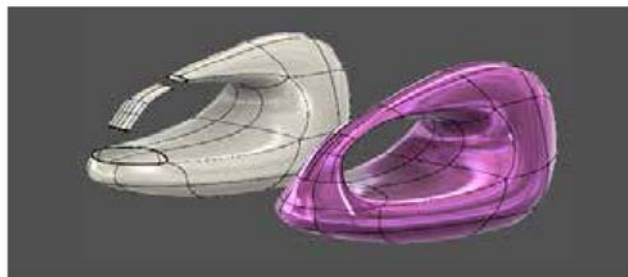


图 2-107

(6) **桥接**: 创建过渡段以连接某个实体内或两个实体之间的两个相对面。选择第一组边, 然后选择第二组边, 如图 2-108 所示。

(7) **补孔**: 填充 T 样条实体中的内部孔。选择孔的边并设置填充的类型, 如图 2-109 所示。

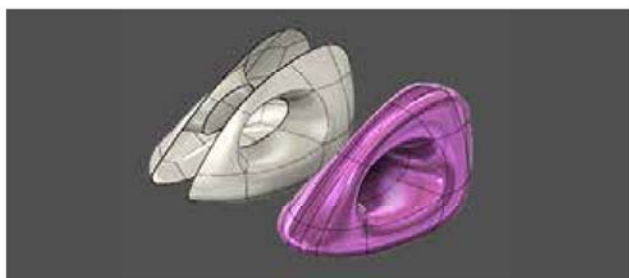


图 2-108

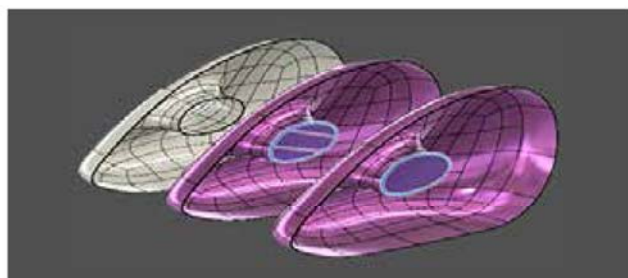


图 2-109

(8) **焊接顶点**: 合并两个或更多的顶点。选择要合并的两个顶点, 通过窗口选择方式, 在指定的公差内选择要焊接的顶点, 如图 2-110 所示。

(9) **取消焊接边**: 断开边或回路连接 (见图 2-111)。选择边或双击选择回路, 按住 Ctrl 键 (Windows) 或 Command 键 (Mac) 选择多条边。

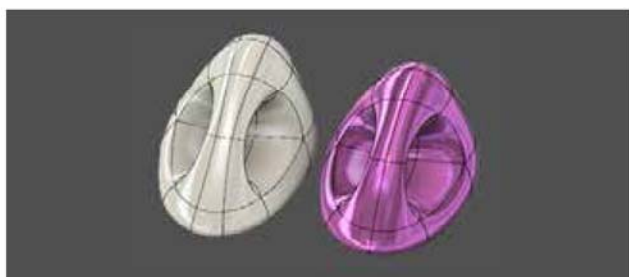


图 2-110

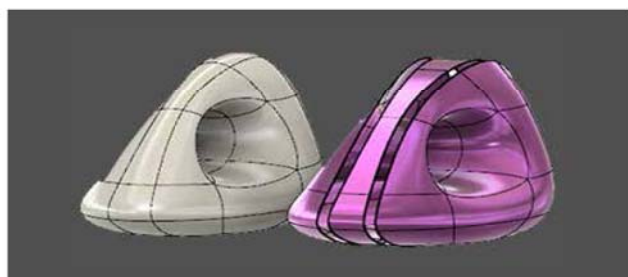


图 2-111

(10) **锐化**: 在面之间创建一条锐边 (见图 2-112)。选择要锐化的边。

(11) **取消锐化**: 将之前锐化的边恢复到其原始状态。选择要取消锐化的边。

(12) **倒角边**: 使用指定数量的相邻边替换一条边 (见图 2-113)。选择边, 然后指定倒角的位置。

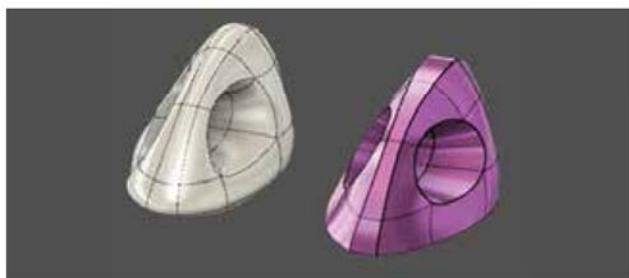


图 2-112

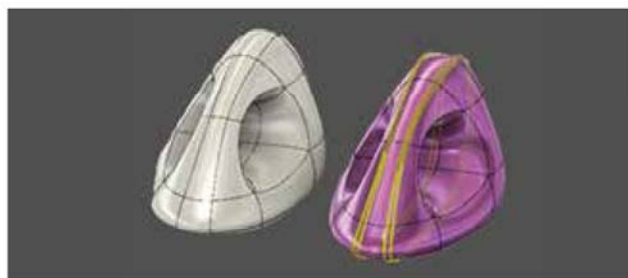


图 2-113

(13) **滑动边**: 沿控制多边形移动选定的边。选择边, 然后指定新位置, 如图 2-114 所示。

(14) 拉伸：将选定的 T 样条顶点捕捉到面或曲面。顶点可以为控制点或曲面点。选择要移动的顶点，这些顶点将自动移动至最近的实体，如图 2-115 所示。

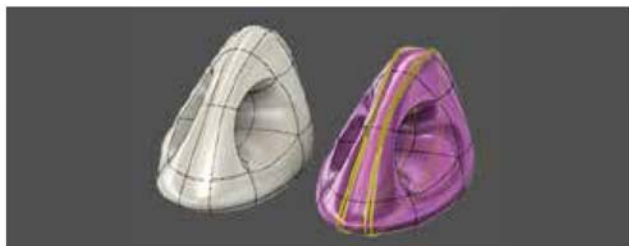


图 2-114

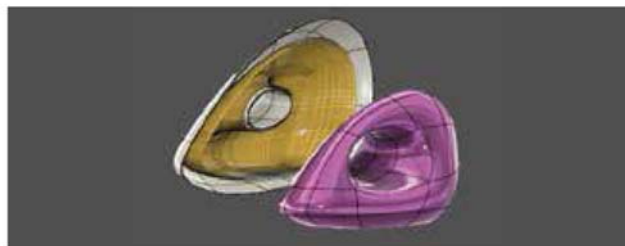


图 2-115

(15) 展平：将顶点投影到最近拟合平面或用户定义的平面（见图 2-116）。选择要重新定位的顶点。

(16) 匹配：将 T 样条实体的边与曲面或实体的边或者与草图曲线对齐。选择要修改的边，然后选择目标边或草图曲线，如图 2-117 所示。

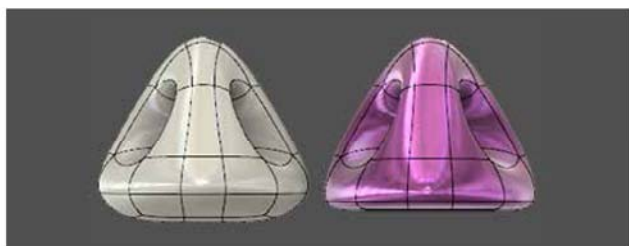


图 2-116

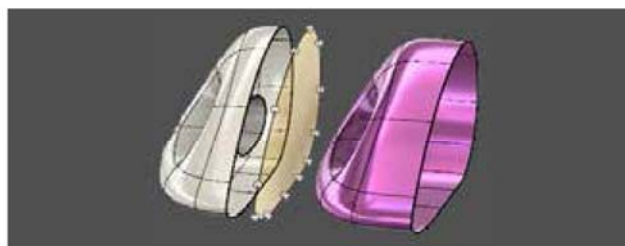


图 2-117

(17) 插值：切换曲面和控制点的位置以改进拟合。选择是将控制点移动到曲面，还是将曲面移动到控制点。选择实体，然后选择是要移动控制点还是移动曲面点。

(18) 加厚：创建实体偏移。选择实体，然后设置厚度和末端处理方式，如图 2-118 所示。

(19) 冻结：分为冻结和解冻两个命令。冻结是指冻结模型上面和边以防止意外修改。解冻是指解冻先前冻结的面和边。

3. 对称命令集

对称命令集包括镜像 - 内部、环形 - 内部、镜像 - 复制、环形 - 复制、清除对称和隔离对称 6 个命令，如图 2-119 所示。

(1) 镜像 - 内部：使用 T 样条实体的元素创建镜像对称。在实体的每一侧选择一个面，如果需要在每侧上选择边，然后选择顶点，如图 2-120 所示。

(2) 环形 - 内部：使用 T 样条实体的元素创建环形对称。在实体上选择一个面，然后选择对称线的数量，如图 2-121 所示。

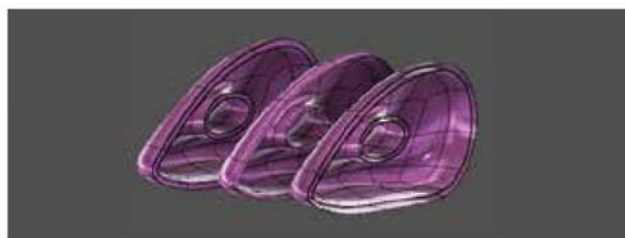


图 2-118



图 2-119

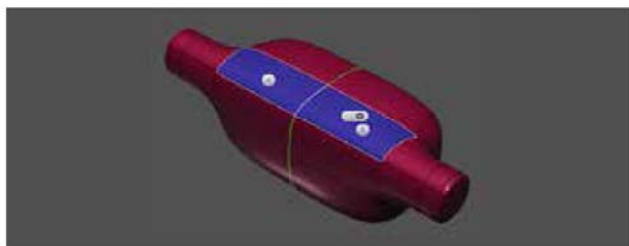


图 2-120

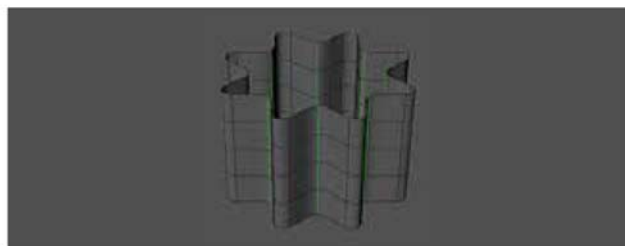


图 2-121

(3) **镜像 - 复制**: 创建跨指定平面镜像的副本实体。选择要复制的实体, 然后选择镜像平面, 如图 2-122 所示。

(4) **环形 - 复制**: 围绕选定的轴创建指定数目的实体。选择要复制的实体, 然后选择要围绕其旋转的轴, 如图 2-123 所示。

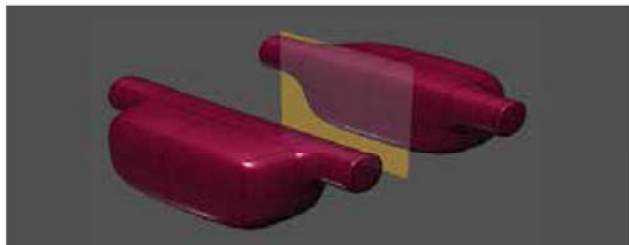


图 2-122

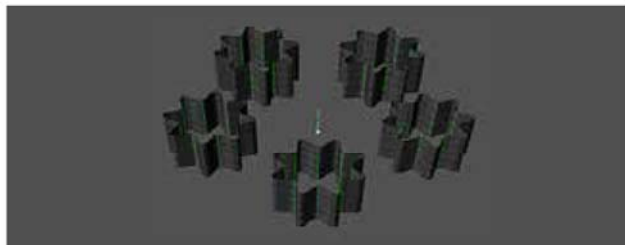


图 2-123

(5) **清除对称**: 从单个实体或一系列实体中移除对称约束。选择对称实体。

(6) **隔离对称**: 防止对选定的顶点、边或面应用对称变换。选择要从其删除对称的面、边或顶点。

4. 实用程序命令集

实用程序命令集包括显示模式、修复实体、均匀分布、转换、启用性能优先 5 个命令, 如图 2-124 所示。

(1) **显示模式**: 将实体显示设定为平滑、方体或控制框。平滑用于显示实际模型, 方体仅仅用于显示控制框架。控制框用于显示框架和实际模型。选择所需的显示模式, 如果有多个 T 样条实体, 用户需要选择实体以更改显示, 如图 2-125 所示。

(2) **修复实体**: 分析 T 样条实体, 并显示有关网格的信息, 更正错误 T 样条和错误星形条件。选择要分析的实体。

(3) **均匀分布**: 删除星形点附近的收缩, 将非均匀面更改为均匀面, 如图 2-126 所示。选择要常规化的实体。



图 2-124

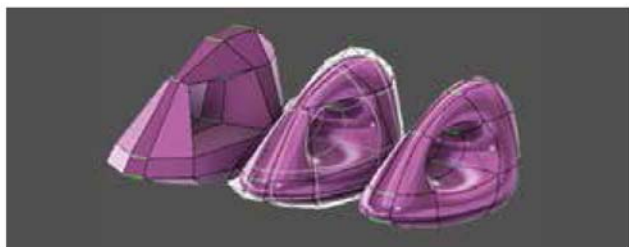


图 2-125

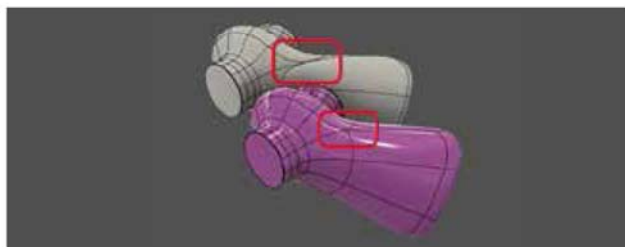


图 2-126

(4) **转换**: 更改选定对象的实体类型, 将 BRep (实体或曲面) 面转换为 T 样条面, 将 T 样条实体转换为 BRep 实体, 将四边形网格转换为 T 样条实体。选择要转换的对象。

(5) **启用性能优先**: 在“性能优先”或“显示优先”之间切换。“显示优先”以最高质量 (在星形点处应用 G1 连续条件) 显示实体; “性能优先”通过在星形点处应用 G0 连续条件计算修改。

2.4.8 面片建模

面片建模一直是 Autodesk 用户津津乐道的建模技术之一, 在 3ds Max 中常运用面片建模, 使用面片可以直接创建复杂的角色模型, 但是这种方法受到的限制较多, 制作过程也较为繁杂, 对于面片不太了解的用户很难使用该方法创建不规则的模型。相对于面片直接建模, 使用“曲面”修改器基于样条线网格的轮廓生成面片曲面, 会在三面体或四面体的交织样条线分段的任何地方创建面片。这样, 我们只需创建出对象的拓扑线就可以生成面片, 使模型的创建更简单高效, 如图 2-127 所示。

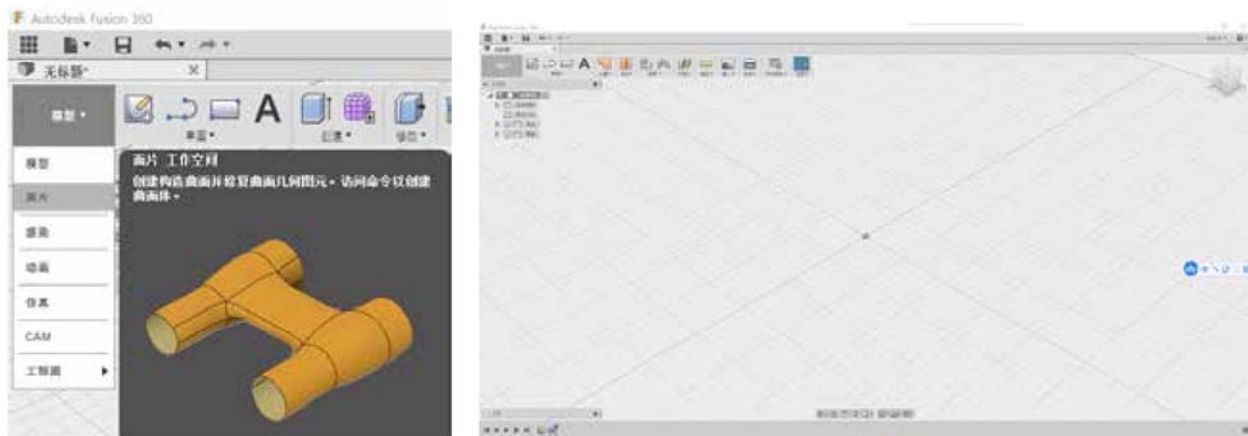


图 2-127

同样，面片建模工作环境中有草图绘制命令集、创建命令集和修改命令集等，使用方法和前面的参数化建模、T 样条建模是一样的，这里就不再赘述了。