

CAD/CAM 技能型人才培养系列教材

三维数字化设计与仿真教程 (NX·AI 赋能版)

吴立军 单岩 黄岗 主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书以 NX 2406 为载体,系统阐述三维建模与 AI 赋能的数字化设计技术。本书共 14 章,采用项目引导式教学方式,从基础操作到复杂建模,层层递进,帮助读者掌握 NX 建模核心功能与 AI 赋能设计方法。每章内容由案例分析、知识链接、案例实施、拓展练习与总结提升四部分组成,结合大量视频资源,实现知识、技能与应用的有机融合。本书配备立体化资源,包括 PPT 课件、案例源文件、操作视频、智能题库、知识图谱,实现“教、学、练、考”全链路闭环。

本书适合作为高等院校工程类相关专业的教材,也可作为相关工程技术人员的培训或自学教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

三维数字化设计与仿真教程: NX·AI 赋能版 / 吴立军, 单岩, 黄岗主编. -- 北京: 清华大学出版社, 2026. 6. -- (CAD/CAM 技能型人才培养系列教材).
ISBN 978-7-302-71778-2

I. TP391.72; TP391.9

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2026F6N464

责任编辑: 刘金喜

封面设计: 范惠英

版式设计: 妙思品位

责任校对: 成凤进

责任印制: 丛怀宇

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <https://www.tup.com.cn>, <https://www.wqxuetang.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编: 100084

社 总 机: 010-83470000

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 三河市人民印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 16.5

字 数: 390 千字

版 次: 2026 年 6 月第 1 版

印 次: 2026 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 68.00 元

产品编号: 112479-01

前言

数字驱动是新一轮产业变革的重要特征，产业升级和技术应用需要大量具有数字化、智能化的高素质专业技术技能人才。三维建模是CAD/CAM/CAE数字化技术体系中最基本和最常用的部分，它不仅是CAD的核心内容，而且是实施NC编程、FEM计算、仿真分析、数字孪生等技术的必要前提。而人工智能技术的融入，不仅能够提升设计效率，还能优化设计流程、降低设计门槛，推动了设计行业的创新。

作为全球领先的工业软件解决方案，Siemens NX集成了CAD(计算机辅助设计)、CAM(计算机辅助制造)、CAE(计算机辅助工程)三大核心功能模块，在航空航天、汽车制造、精密机械等高端制造领域具有广泛的应用实践。其强大的参数化建模能力与智能化设计工具，为数字化人才培养提供了理想的实践平台。

本书编写团队基于二十余年CAD/CAM/CAE教学研究经验，结合NX软件工程实践需求，系统构建了“三维建模+AI赋能”的数字化能力培养体系。教材特色如下。

1. 项目化知识架构

全书14章内容以“简单—复杂”梯度设计项目案例，涵盖NX核心功能与AI技术应用。每个项目设置以下五大模块。

- 案例分析：通过“庖丁解牛”式产品特征解构，培养逆向工程思维与建模预判能力。
- 知识链接：深度解析关键命令的技术原理与拓展应用场景。
- 案例实施：结合工业级实战经验，强化工程问题解决能力。
- 拓展练习：深化知识迁移，驱动自主学习。
- 总结提升：梳理所学内容，形成结构化设计思维体系。

2. 立体化教学资源

配套资源形成“四位一体”教学体系。

- 基础理论：PPT课件、试题库(含答案)。
- 实践工具：案例源文件与成果文件。
- 技能训练：高清操作视频(含关键步骤解析)。
- 强化提升：智能题库和知识图谱。

3. 智能化教学支持

通过在线教学平台(访问路径见下方), 提供差异化服务。

- 学生端: 通过扫描下方二维码, 按照说明进行操作, 可获取以下资源。

- 教学课件与案例文件
- 案例操作视频
- 智能题库训练系统



学生端资源

- 教师端: 通过扫描下方二维码, 可开通以下资源。

- 教学管理后台
- 数据化学习分析工具
- 在线考试与作业系统



教师端资源

本书由吴立军(浙江科技大学)、单岩(浙江大学)、黄岗(杭州科技职业技术学院)主编, 曹淼龙(浙江科技大学)参与编写。限于编撰时间与编者的水平, 书中难免存在疏漏之处, 诚盼读者及专业人士提出宝贵意见与建议, 我们将持续完善教材体系。请通过以下方式与我们交流。

E-mail: 476371891@qq.com, wkservice@vip.163.com

编 者

2026年1月



目 录

第 1 章 三维建模入门案例	1	2.3 案例实施	29
1.1 案例分析	1	2.3.1 新建草图任务	29
1.1.1 案例说明	1	2.3.2 确定草图定位中心	29
1.1.2 思路分析	2	2.3.3 绘制矩形	30
1.2 知识链接	2	2.3.4 倒过渡圆角	30
1.2.1 设计的飞跃——从二维到 三维	2	2.3.5 绘制圆弧	30
1.2.2 三维建模——CAX 的基石	3	2.3.6 倒圆角	30
1.2.3 三维建模相关概念	5	2.4 拓展练习	31
1.2.4 NX 软件介绍	8	2.5 总结提升	31
1.2.5 图形交换标准	9	第 3 章 方向盘零件建模	32
1.2.6 基于 NX 的产品设计流程	12	3.1 案例分析	32
1.3 案例实施	12	3.1.1 案例说明	32
1.3.1 主体特征建模	12	3.1.2 思路分析	33
1.3.2 键槽特征创建	17	3.2 知识链接	33
1.3.3 细节特征创建	20	3.2.1 实体建模概述	33
1.4 总结提升	21	3.2.2 拉伸命令解析	34
第 2 章 吊钩草图绘制	22	3.2.3 管命令解析	36
2.1 案例分析	22	3.2.4 移动对象命令解析	37
2.1.1 案例说明	22	3.3 案例实施	39
2.1.2 思路分析	23	3.3.1 外圆的创建	39
2.2 知识链接	23	3.3.2 键槽的创建	40
2.2.1 草图任务操作	23	3.3.3 轮辐的创建	40
2.2.2 直线命令解析	27	3.4 拓展练习	42
2.2.3 圆命令解析	28	3.5 总结提升	42
2.2.4 圆弧命令解析	28	第 4 章 反射镜零件建模	43
2.2.5 圆角和倒斜角命令解析	28	4.1 案例分析	43
2.2.6 修剪命令和延伸命令解析	28	4.1.1 案例说明	43



4.1.2 思路分析	44	6.4 拓展练习	79
4.2 知识链接	44	6.5 总结提升	80
4.2.1 基准特征	44	第 7 章 心形零件建模	81
4.2.2 孔命令解析	45	7.1 案例分析	81
4.2.3 旋转命令解析	46	7.1.1 案例说明	81
4.3 案例实施	47	7.1.2 思路分析	82
4.3.1 外圆主体特征建模	47	7.2 知识链接	82
4.3.2 零件细节特征建模	49	7.3 案例实施	85
4.3.3 孔特征创建	52	7.3.1 零件草图绘制	85
4.4 拓展练习	54	7.3.2 扫掠特征建模	87
4.5 总结提升	54	7.4 拓展练习	87
第 5 章 支撑桥零件建模	55	7.5 总结提升	88
5.1 案例分析	55	第 8 章 小家电外壳零件建模	89
5.1.1 案例说明	55	8.1 案例分析	89
5.1.2 思路分析	56	8.1.1 案例说明	89
5.2 知识链接	56	8.1.2 思路分析	90
5.2.1 圆柱体命令解析	56	8.2 知识链接	90
5.2.2 边倒圆命令解析	57	8.2.1 自由曲线与自由曲面的基本 原理	90
5.2.3 镜像特征命令解析	61	8.2.2 理解曲面建模功能	97
5.3 案例实施	62	8.2.3 曲线长度命令解析	102
5.3.1 创建连接柱	62	8.2.4 截面曲面命令解析	102
5.3.2 创建主体特征	62	8.2.5 修剪和延伸命令解析	102
5.3.3 创建侧耳特征	63	8.2.6 有界平面命令解析	103
5.4 拓展练习	69	8.2.7 缝合命令解析	103
5.5 总结提升	70	8.2.8 替换面命令解析	103
第 6 章 导向块零件建模	71	8.3 案例实施	104
6.1 案例分析	71	8.3.1 曲线创建	104
6.1.1 案例说明	71	8.3.2 主体特征创建	106
6.1.2 思路分析	72	8.3.3 凸台特征创建	112
6.2 知识链接	72	8.3.4 倒圆角及合并	115
6.2.1 拔模命令解析	72	8.4 拓展练习	117
6.2.2 倒斜角命令解析	74	8.5 总结提升	117
6.3 案例实施	74	第 9 章 油箱盖零件建模	118
6.3.1 实体特征创建	74	9.1 案例分析	118
6.3.2 细节特征调整	76		

9.1.1 案例说明	118	10.3.3 顶部特征创建	161
9.1.2 思路分析	119	10.3.4 侧边圆柱特征创建	166
9.2 知识链接	120	10.3.5 侧孔特征的创建	169
9.2.1 基准平面命令解析	120	10.3.6 加强筋特征创建	169
9.2.2 修剪片体命令解析	120	10.3.7 后边孔特征的创建	172
9.2.3 投影曲线命令解析	121	10.3.8 加强筋特征的创建	173
9.2.4 抽取几何特征命令解析	122	10.4 拓展练习	176
9.2.5 镜像几何体命令解析	122	10.5 总结提升	176
9.2.6 扩大命令解析	123	第 11 章 脚轮的装配	177
9.2.7 阵列几何特征命令解析	123	11.1 案例分析	177
9.3 案例实施	124	11.1.1 案例说明	177
9.3.1 主体特征草图创建	124	11.1.2 思路分析	178
9.3.2 主体特征片体创建	126	11.2 知识链接	178
9.3.3 凹槽特征草图	127	11.2.1 装配功能简介	178
9.3.4 结构特征创建	131	11.2.2 装配约束	181
9.3.5 卡扣特征创建	134	11.2.3 移动组件	185
9.3.6 侧面特征的创建	137	11.2.4 部件间链接	185
9.3.7 筋板结构特征创建	138	11.2.5 装配导航器的使用	186
9.3.8 卡钩特征创建	140	11.2.6 爆炸视图的创建	187
9.3.9 卡钩加强筋特征创建	145	11.3 案例实施	189
9.3.10 表面小凹槽特征创建	148	11.3.1 “叉架”组件装配	189
9.4 拓展练习	151	11.3.2 “轮子”组件装配	189
9.5 总结提升	151	11.3.3 “销”组件的装配	190
第 10 章 便携式吸尘器外壳零件建模	152	11.3.4 “垫圈”组件的装配	191
10.1 案例分析	152	11.3.5 “轴”组件的装配	192
10.1.1 案例说明	152	11.4 拓展练习	194
10.1.2 思路分析	153	11.5 总结提升	194
10.2 知识链接	153	第 12 章 法兰轴工程图绘制	195
10.2.1 直纹命令解析	153	12.1 案例分析	195
10.2.2 加厚命令解析	155	12.1.1 案例说明	195
10.2.3 修剪体命令解析	155	12.1.2 思路分析	196
10.2.4 偏置区域命令解析	155	12.2 知识链接	197
10.2.5 布尔运算命令解析	156	12.2.1 工程制图概述	197
10.3 案例实施	157	12.2.2 工程图纸的创建与 编辑	198
10.3.1 草图创建	157		
10.3.2 主体特征创建	158		



12.2.3	视图的创建	200	13.3.1	创建连杆模型	229
12.2.4	视图编辑	208	13.3.2	四连杆装配	230
12.2.5	尺寸标注与注释	211	13.3.3	运动模拟设计	231
12.2.6	参数预设置	212	13.4	拓展练习	236
12.3	案例实施	213	13.5	总结提升	236
12.3.1	新建图纸页	213	第 14 章	AI 赋能数字化设计	237
12.3.2	创建基本视图	214	14.1	案例分析	237
12.3.3	创建旋转剖视图	214	14.1.1	案例说明	237
12.3.4	创建投影视图	215	14.1.2	思路分析	237
12.3.5	创建剖视图	216	14.2	知识链接	238
12.3.6	创建局部放大图	217	14.2.1	AI 赋能路径与二次开发 策略	238
12.3.7	编辑剖视图背景	217	14.2.2	NX 二次开发基础	239
12.3.8	工程图标注	218	14.2.3	外部 Python 环境配置	243
12.4	拓展练习	221	14.2.4	开发工具推荐与使用	245
12.5	总结提升	222	14.2.5	二次开发的运行模式	247
第 13 章	四连杆机构的运动模拟	223	14.2.6	如何写高质量的 提示词	248
13.1	案例分析	223	14.3	案例实施	250
13.1.1	案例说明	223	14.3.1	撰写提示词	250
13.1.2	思路分析	223	14.3.2	编写并调试二次开发 代码	250
13.2	知识链接	224	14.3.3	高阶技巧与辅助工具	252
13.2.1	NX 软件的运动模拟 设计	224	14.4	拓展练习	253
13.2.2	运动模拟设计功能 介绍	224	14.5	总结提升	254
13.3	案例实施	229			

三维建模入门案例

项目要求

- 熟悉三维建模技术的基本概况。
- 熟练使用NX软件的实体命令。
- 掌握案例中的建模思路。
- 掌握简单轴的三维建模方法。

1.1 案例分析

1.1.1 案例说明

本案例根据图纸ShiTi01.jpg所示完成轴零件建模，如图1-1所示。

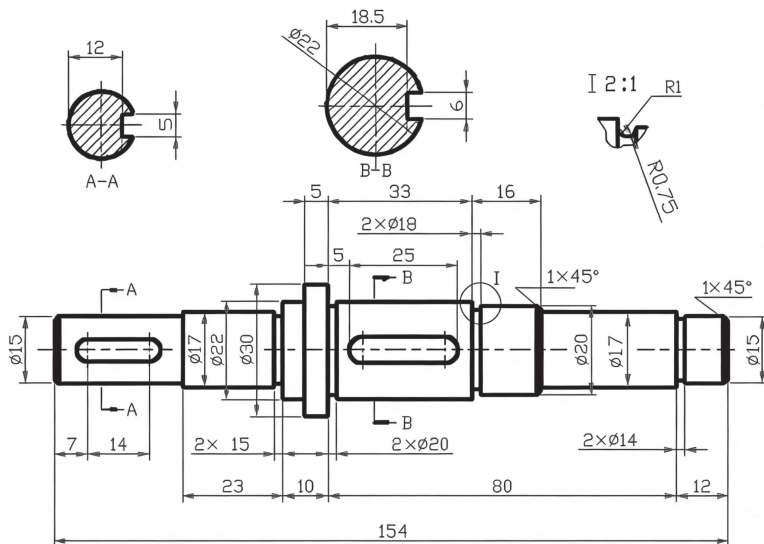


图 1-1 轴零件建模示意图



1.1.2 思路分析

通过观察图纸，可以看出本案例的轴零件主要由圆柱体这个基本的几何元素组成。因此，轴零件主体只要通过【拉伸】命令就可以完成。根据轴零件的特征，确定建模思路：先创建主体，再添加键槽，最终进行倒角处理。具体建模流程如图1-2所示。

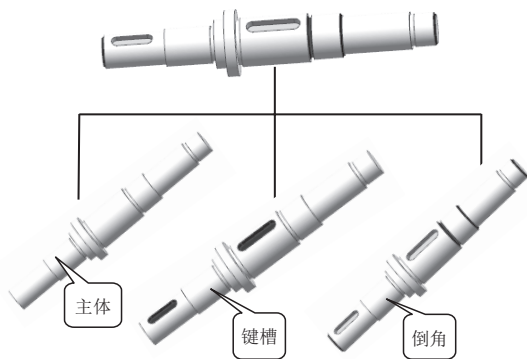


图 1-2 建模流程示意图

1.2 知识链接

1.2.1 设计的飞跃——从二维到三维

目前，我们看到的印刷资料(如图书、图片、图纸等)，都是平面的、二维的，可用X、Y两个维度表示。而现实世界是立体的，为了完整地表述现实世界中的物体，我们需要用X、Y、Z三个维度进行表示。所以平面的二维资料只能反映现实世界的部分信息，我们需要运用抽象思维才能在大脑中形成三维映像。

多年来，二维工程图一直被作为工程界的通用语言，用于在设计、加工、装配等工程人员之间传递产品信息。由于单个平面图形不能完全反映产品的三维信息，人们便制定了一些制图规则，如三维产品的投影方向、剖切规则、标注方法等，形成若干由二维视图组成的图纸，从而表达完整的产品信息。在如图1-3所示的工程图中，就是用三个视图和一个轴测图来表达产品的。

工程图中的视图和反映产品三维形状的轴测图(正等轴测图、斜二测视图或其他视角形成的轴测图)，都是以二维平面图的形式展现从某个视点、方向投影过去的物体的情况。根据这些视图及制定的制图规则，借助人类的抽象思维，就可以在大脑中重构物体的三维空间几何结构。因此，不了解工程制图规则，就无法识图、读图，也就无法进行产品的设计、制造、装配，更无法与其他技术人员沟通。

毋庸置疑，二维工程图在人们进行技术交流等方面起到了重要作用。但用二维工程图形来表达三维世界中的物体，则需要把三维物体按制图规则绘制成二维图形(即制图过程)，其他技术人员再根据这些二维图形和制图规则，借助抽象思维在大脑中重构三维模型(即读图过程)，

这一过程复杂且易出错。那么,有没有方法可以直接反映大脑中三维的、具有真实感的物体,而不用经历三维投影到二维、二维再抽象到三维的过程呢?答案是肯定的,人们可以利用三维建模技术直接创建产品的三维模型,如图1-4所示。

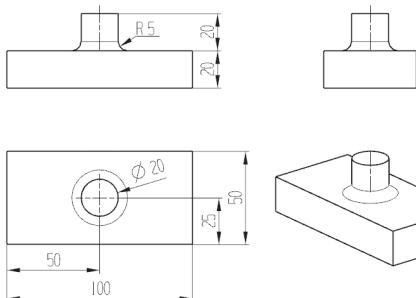


图1-3 工程图

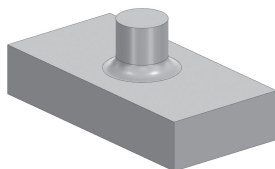


图1-4 产品的三维模型

三维建模技术通过三维模型来呈现大脑中设计的产品,从而直观地展示产品的三维空间结构。计算机中的三维数字模型,对应着大脑中想象的物体,构造这种数字模型的过程,就是三维建模。在计算机上利用三维造型技术建立的三维数字形体,称为三维模型。三维模型可直接用于工程分析,便于尽早发现设计的不合理之处,大大提高了设计效率和可靠性。

1.2.2 三维建模——CAX 的基石

正是计算机辅助技术(CAX技术)的蓬勃发展,使得产品的数字化设计、分析、制造成为现实,缩短了产品设计制造周期。CAX技术包括CAD(computer aided design, 计算机辅助设计)、CAM(computer aided manufacturing, 计算机辅助制造)、CAPP(computer aided process planning, 计算机辅助工艺规划)、CAE(computer aided engineering, 计算机辅助工程)等计算机辅助技术。其中,CAD技术是实现CAM、CAPP、CAE等技术的先决条件,因此CAD技术的核心和基础是三维建模技术。

可以模制产品的开发流程为例来考察CAX技术的应用背景,以及三维建模技术在其中的地位。通常,模制产品的开发流程分为产品设计、模具设计、模具制造和产品制造4个阶段,如图1-5所示。

(1) 产品设计阶段。

首先建立产品的三维模型。建模的过程实际就是产品设计的过程,这个过程属于CAD领域。设计与分析是一个交互过程,设计者需要将设计好的产品进行工程分析(CAE),如强度分析、刚度分析、机构运动分析、热力学分析等,再将分析结果反馈到设计阶段(CAD),并根据需要修改结构,修改后继续进行分析,直到满足设计要求为止。

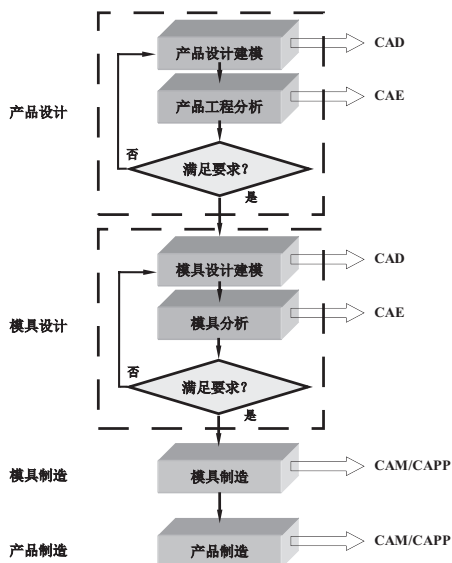


图1-5 模制产品的开发流程



(2) 模具设计阶段。

根据产品模型设计相应的模具，如凸模、凹模及其他附属结构，并建立模具的三维模型，这个过程也属于CAD领域。设计完成的模具，同样需要经过CAE分析，分析结果用于检验、指导和修正设计阶段的工作。例如，对塑料制品进行注射成型分析可预测产品成型的各种缺陷(如熔接痕、缩痕、变形等)，从而优化产品设计和模具设计，避免因设计问题造成模具返修甚至报废。模具的设计分析过程类似于产品的设计分析过程，直到满足模具设计要求后，才能最后确定模具的三维模型。

(3) 模具制造阶段。

模具是用来制造产品的模板的，其质量直接决定了最终产品的质量，因此通常采用数控加工方式，这个过程属于CAM领域。制造过程不可避免地与工艺有关，因此需要借助CAPP领域的技术。

(4) 产品制造阶段。

此阶段根据设计好的模具批量生产产品，可能会用到CAM/CAPP领域的技术。

可以看出，在模制产品设计制造过程中，贯穿了CAD、CAM、CAE、CAPP等CAX技术，而这些技术都必须以三维建模为基础。

例如，若要设计生产如图1-6所示的产品，就必须先建立其三维模型。没有三维建模技术的支持，CAD技术将无从谈起。



图1-6 产品的三维模型

产品和模具的CAE分析，不论是分析前的模型网格划分，还是分析后的结果显示，也都必须借助三维建模技术才能完成，如图1-7所示。



图1-7 产品的CAE分析

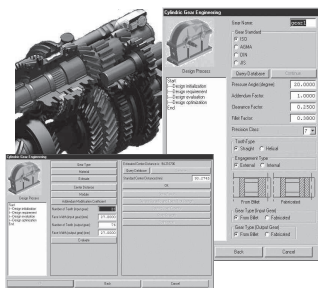
对于CAM，同样需要在模具三维模型的基础上，进行数控(numerical control, NC)编程与仿真加工。图1-8显示了模具加工的数控刀路，即加工模具时，刀具所走的路径。刀具按照这样的路径进行加工，去除材料余量，加工结果就是模具。图1-8还显示了模具的加工刀轨和加工仿真的情况。可以看出，CAM同样以三维模型为基础，没有三维建模技术，虚拟制造和加工是不可想象的。



图1-8 产品的CAM加工

上述模制产品的设计制造过程充分表明，三维建模技术是CAD、CAE、CAM等CAX技术的核心和基础，没有三维建模技术的支持，CAX技术将无从谈起。

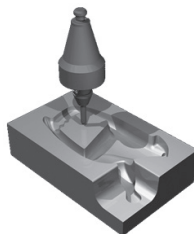
事实上，除了模制产品之外，其他产品的CAD、CAM、CAE也都离不开三维建模技术。从产品的结构设计，到产品的外观造型设计；从正向设计制造到逆向工程、快速原型，都离不开三维建模，如图1-9所示。



产品结构设计



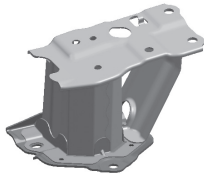
产品外观造型设计



产品加工



工程分析



逆向工程(RE)



快速原型(RP)

图1-9 三维模型的应用

不同的CAD软件各有优势，企业通常同时采用多种CAD软件来完成不同的工作。例如，在NX中完成部分造型工作，然后在CATIA中完成另外一部分造型工作；或者在NX中完成产品三维造型，然后将其导入ANSYS等分析软件中进行分析，这些都涉及不同软件间的数据交换问题。

不同的CAD系统会产生不同格式的数据文件。为了在不同的CAD平台上进行数据交换，人们制定了图形数据交换标准。常用的图形数据交换标准分为二维图形交换标准和三维图形交换标准。其中，二维图形交换标准包括基于二维图纸的DXF数据文件格式；三维图形交换标准包括基于曲面的IGES图形数据交换标准、基于实体的STEP标准及基于小平面的STL标准等。

1.2.3 三维建模相关概念

什么是维？“二维”“三维”的“维”究竟是什么意思？简单地说，“维”就是用来描述



物体的自由度数，点是零维物体，线是一维物体，面是二维物体，体是三维物体。

可以这样理解形体的“维”：想象一只蚂蚁沿着一条线爬行，无论这条线是直线、平面曲线还是空间曲线，蚂蚁都只能前进或后退，即线的自由度是一维的；如果蚂蚁在一个面上爬行，则无论该面是平面还是曲面，蚂蚁可以有前后、左右两个方向供选择，即面的自由度是二维的；如果一只蜜蜂在封闭的体空间内飞行，则它可以有上下、左右、前后三个方向供选择，即体的自由度是三维的。

那么，“二维绘图”“三维建模”中的“维”，与图形对象的“维”是一回事吗？答案是否定的。二维绘图和三维建模中的“维”是指绘制图形所在的空间的维数，而非图形对象的维数。例如，二维绘图只能在二维空间制图，图形对象只能是零维的点、一维的直线、一维的平面曲线等，二维图形对象只有区域填充，没有空间曲线、曲面、体等图形对象；而三维建模可以在三维空间建立模型，图形对象可以是任何维度的，包括点、线、面、体。

1. 图形与图像

什么是图形？计算机图形学中研究的图形是从客观世界物体中抽象出来的带有灰度或色彩及形状的图或形，由点、线、面、体等几何要素和明暗、灰度、色彩等非几何要素构成，与数学中研究的图形有所区别。

计算机技术中，根据对图和形表达方式的不同，衍生出了计算机图形学和计算机图像处理技术两个学科，它们分别对图形和图像进行研究。

表 1-1 列出了图形与图像的对比。

表 1-1 图形与图像对比

对比项	图形	图像
表达方式	矢量，方程	光栅，点阵，像素
理论基础	计算机图形学	计算机图像处理
原理	以图形的形状参数与属性参数来表示：形状参数可以是描述图形形状的方程的系数、线段的起止点等；属性参数则包括灰度、色彩、线型等非几何属性	用具有灰度或色彩的点阵来表示，每个点有各自的颜色或灰度，可以理解为由色块拼合而成的图形
维数	任意维形体，包括零维的点、一维的线、二维的面、三维的体	平面图像，由色块拼合而成，没有点、线、面、体的形体概念
直观的解释	数学方程描述的形体	所有印刷品、绘画作品、照片等
原始效果		
放大后的效果		
进一步放大后的局部效果		
旋转	可以绕任意轴、任意点旋转	只能在图像平面内旋转
软件	FreeHand、所有的 CAD 软件等	Paint、Photoshop 等

了解图像与图形的意义非常重要。图像表达的对象可以是三维的，但是表达方式只能是二维的；图形则完整地表达了对象的所有三维信息，可以对图形进行变换视点、绕任意轴旋转等操作。

计算机图形学的主要研究对象是图形，研究计算机对图形的输入、生成、显示、输出、变换，以及图形的组合、分解和运算等处理，是开发CAD软件平台的重要基础。在使用CAD软件完成工作时，虽然不需要关注CAD软件本身的实现方法，但是理解其实现的机理对充分使用软件、合理规划任务还是很有帮助的。更多的相关技术知识可以参考计算机图形学方面的书籍。

2. 图形对象

CAD软件中涉及的图形对象主要有点、线、面、体。

(1) 点。

点是零维的几何形体。CAD中的点一般可分为两类：一类是真实的“点”对象，可以对它执行建立、编辑、删除等操作；另外一类是指图形对象的“控制点”，如线段的端点、中点，圆弧的圆心、四分点等，这些“点”虽然可以用鼠标选中，但并不是真实的点对象，无须专门建立，也没有办法删除。这两类点，初学者很容易混淆。

(2) 线。

线是一维的几何形体，一般分为直线和曲线。

直线一般用二元一次方程 $Ax+By+C=0$ 表达。可以通过指定两个端点(鼠标点选或者输入两个端点坐标)、一个端点和一个斜率等方式确定直线。

曲线包括二维平面曲线和三维空间曲线。二维平面曲线又有基本曲线和自由曲线之分。基本曲线是可用二元二次方程 $Ax^2+By^2+Cxy+Dx+Ey+F=0$ 表达的曲线，曲线上的点严格满足曲线方程，圆、椭圆、抛物线、双曲线都是基本曲线的特例。自由形状曲线是一种解析表达的曲线，通过给定的若干离散的控制点控制曲线的形状。其控制点可以是曲线的通过点，也可以是构成控制曲线形状的控制多边形的控制点，还可以是拟合线上的点。常见的自由形状曲线有Ferguson曲线、Bezier曲线、B样条曲线和NURBS曲线等。

(3) 面。

面是二维的几何形体，分为平面和曲面。

平面的表达和生成比较容易理解，需要注意的是，平面(plain)是二维对象，与物体表面(surface)不是同一概念。例如，长方体的六个表面并不是平面对象，不能创建、编辑或删除，建立六个平面并不等于一个长方体。

曲面常被称为片体(sheet)，是没有厚度的二维几何体。曲面功能的丰富程度是衡量CAD软件功能的重要依据之一。与曲线类似，曲面也分为基本曲面和自由曲面。基本曲面通过确定的方程描述，如圆柱面、圆锥面、双曲面等。自由曲面没有严格的方程，通过解析法表达，常见的有Coons曲面、Bezier曲面、B样条曲面和NURBS曲面等。

(4) 体。

体是三维的几何形体。三维造型的目的就是建立三维形体。



在建立三维形体时,通常在基本形体或者它们的布尔操作的基础上,增加材料(如加凸台、凸垫等)或减去材料(如开孔、槽等),然后进行一些细节处理(如倒角、抽壳等),形成最后的形状。

基本形体可以是基本体素,如块(block)、柱(cylinder)、锥(cone)、球(sphere)等;也可以是二维形体经过扫描操作而形成的三维形体。

3. 视图变换与物体变换

任何CAD软件都提供在屏幕上缩放、平移、旋转所绘制的图形对象的功能。正如工程制图中的局部放大图,物体的细节被放大了,但是其真实尺寸并没有放大一样,缩放、平移、旋转操作也不会改变物体本身的形状大小和相对位置,只是从视觉上对物体进行不同的观察。在屏幕中缩放物体,相当于改变观察点与物体间的距离,模拟了视点距离物体远近的观察效果;旋转屏幕中的物体,相当于改变视点与物体的相对方位,或者视点不变旋转物体,或者物体不动转动观察点。这些操作都不会改变物体的真实情况,称为视图变换。

那么,如果要改变物体的真实形状、尺寸,又该如何操作呢?

通常,CAD软件都提供坐标变换(transform)功能,以实现物体的缩放、旋转、平移、复制、移动、阵列等操作。这些操作真实作用于物体,会改变物体的真实形状,称为物体变换,它与视图变换有本质区别。

视图变换与物体变换虽然本质上不同,但是实现方法是相同的,都是坐标变换。视图变换是基于显示坐标系进行变换,相当于改变观察物体的视点(距离或方位);物体变换则是基于物体在真实世界中的世界坐标系进行变换,真实改变了物体的尺寸和形状。

1.2.4 NX 软件介绍

Unigraphics(简称UG)起源于美国麦道航空公司,早期是一款自动编程系统。20世纪90年代其被EDS公司收并,为通用汽车公司服务,并由美国EDS公司开发为集CAD/CAE/CAM于一体的设计软件,可用于整个产品的开发过程,包括产品建模、零部件装配、数控加工、运动分析、有限元分析,以及工程图生成等。2007年5月正式被西门子收购,自此,此产品更名为NX。目前,NX软件(最新版本为NX 2406,其运行界面如图1-10所示)是全球应用较为广泛的计算机辅助设计和辅助制造软件之一,被应用于航空航天、汽车、机械及模具、消费品、高科技电子等领域的产品设计、分析及制造,被认为是业界比较具有代表性的数字化产品开发系统。

NX软件集CAD/CAM/CAE/PDM/PLM于一体,其中,CAD软件使工程设计及制图实现了完全自动化;CAM软件提供了大量数控编程库(如机床库、刀具库等),便于进行数控加工仿真、编程和后处理;CAE软件提供了产品、装配和部件性能模拟能力;PDM/PLM软件帮助管理产品数据和整个生命周期中的设计重用。

NX软件不仅具有强大的实体造型、曲面造型、虚拟装配和生成工程图的设计功能,而且在设计过程中可以进行机构运动分析、动力学分析和仿真模拟,提高了设计的精确度和可靠性。

[illegible]

NX系统由许多功能模块组成，这些模块几乎涵盖了CAD/CAM/CAE各种技术。本书主要介绍基本环境、建模、制图、装配、仿真五个模块，其中建模模块是重点。

1. 二维图形交换标准(DXF)

2. 初始图形交换规范(IGES)

IGES定义了一种“中性格式”文件，它类似于一个翻译器。在要转换的CAX软件系统中，把文件转换成IGES格式文件导出，其他CAX软件通过读入这种IGES格式的文件，翻译成本系统的文件格式，由此实现数据交换。这种结构方法非常适合在异种机之间或不同的CAX系统之间进行数据交换，因此，目前绝大多数CAX系统都提供读、写IGES文件的接口。



由于IGES定义的实体主要是几何图形信息,输出形式面向用户理解而非面向计算机,因此不利于系统集成。更为致命的缺陷是,IGES在数据转换过程中,经常出现信息丢失与畸变问题。另外,IGES文件占用存储空间较大,虽然如今硬盘容量的限制不是很大的问题,但会影响数据传输和处理的效率。

尽管如此,IGES仍然是目前各国广泛使用的事实上的国际标准数据交换格式,我国于1993年9月起将IGES 3.0作为国家推荐标准。



提示

IGES 无法转换实体信息,只能转换三维形体的表面信息。例如,一个立方体经IGES转换后,不再是立方体,而是只包含立方体的六个面。

3. 产品模型数据交换标准(STEP)

STEP(standard for the exchange of product model data,产品模型数据交换标准)是一个三维实体图形交换标准,由国际标准化组织(ISO)于1992年制定颁布。产品在各个过程中产生的信息量大且数据关系复杂,而且分散在不同的地方,因此,需要将这些产品信息以计算机能理解的形式表示,并确保其在不同的计算机系统之间进行交换时保持一致和完整。于是,STEP便应运而生,STEP把产品信息的表达和用于数据交换的实现方法区分开来。

STEP采用统一的产品数据模型,为产品数据的表示与通信提供一种中性数据格式,能够描述产品整个生命周期中的所有产品数据,因而基于STEP的产品模型完整地表达了产品的设计、制造、使用、维护、报废等方面的信息,为下达生产任务、直接质量控制、测试和进行产品支持等方面的功能提供全面的信息,并独立于处理这种数据格式的应用软件。

STEP较好地解决了IGES的不足,能满足CAX集成和CIMS的需要,将广泛地应用于工业、工程等领域,有望成为CAX系统及其集成的数据交换主流标准。

STEP存在的问题是整个体系极其庞大,标准的制定过程进展缓慢,数据文件比IGES更大。

4. 3D模型文件格式(STL)

STL文件格式最早是快速成型(RP)领域中的接口标准,现已被广泛应用于各种三维造型软件中,很多主流的商用三维造型软件都支持STL文件的输入输出。STL模型将原来的模型转换为三角面片的形式,以三角面片的集合来逼近表示物体外轮廓形状,其中每个三角形面片由4个数据项表示,即三角形的3个顶点坐标和三角形面片的外法线矢量。STL文件即为多个三角形面片的集合。目前,STL文件格式在逆向工程(RE)中也很常用,如实物经三维数字化测量扫描所得的数据文件常常是STL格式。

5. 其他图形格式转换

在使用三维造型软件时,还经常遇见Parasolid、CGM和VRML等图形文件格式,它们有各自的图形核心标准。图形核心标准是计算机绘图的图形库,相关内容参见有关书籍。

很多大型CAD/CAX软件不仅提供标准格式的导入/导出,还直接提供了输入/输出其他

CAD软件的文件格式。图1-11所示是NX中导入/导出其他文件格式的菜单。NX除了直接支持一些常用的CAD/CAM软件的文件格式(如CATIA、Pro/E)外,还支持Parasolid、CGM和VRML等。



图1-11 NX中导入/导出的其他文件格式的菜单

- Parasolid是NX的图形核心库,包含了绘制和处理各种图形的库函数。有关图形核心库及其相关标准,读者可参见其他有关书籍及资料。

- CGM(computer graphics metafile, 计算机图形元文件)包含矢量信息和位图信息,许多组织和政府机构,如英国标准协会(BSI)、美国国家标准协会(ANSI)和美国国防部等都采用CGM作为其标准文件格式。CGM能处理所有的三维编码,并解释和支持所有元素,完全支持三维线框模型、尺寸、图形块等输出。目前,所有的文本处理软件都支持这种格式。

- VRML(virtual reality modeling language, 虚拟现实建模语言)定义了一种把三维图形和多媒体集成在一起的文件格式。从语法角度看,VRML文件显式地定义已组织起来的三维多媒体对象集合;从语义角度看,VRML文件描述的是基于时间的交互式三维多媒体信息的抽象功能行为。VRML文件的解释、执行和呈现通过浏览器实现。



1.2.6 基于 NX 的产品设计流程

基于NX的产品设计流程，通常是先对产品的零部件进行三维造型，并在此基础上再进行结构分析、运动分析等，然后根据分析结果，对三维模型进行修正，最终将符合要求的产品模型定型。定型之后，可基于三维模型创建相应的工程图样，或者进行模具设计和数控编程等。因此，用NX进行产品设计的基础和核心是构建产品的三维模型，而构建产品三维模型的实质就是创建产品零部件的实体特征或片体特征。

实体特征通常由基本体素(如矩形、圆柱体等)、扫描特征等构成，或者在它们的基础上通过布尔运算后获得。对于扫描特征的创建，往往需要先用曲线工具或草图工具创建出相应的引导线与截面线，再利用实体工具来构建。

片体特征的创建，通常也需要先用曲线工具或草图工具创建好构成曲面的截面线和引导线，再利用曲面工具来构建。片体特征通过缝合、增厚等操作可创建实体特征；实体特征通过析出操作等也可以获得片体特征。

使用NX进行产品设计的一般流程如图1-12所示。

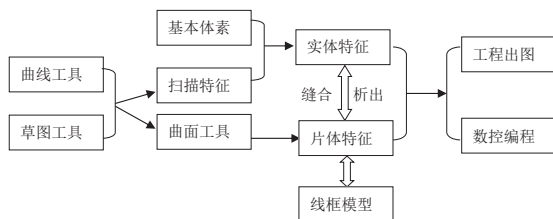


图 1-12 产品设计流程图

1.3 案例实施



三维建模入门案例

1.3.1 主体特征建模

(1) 创建圆柱体，选择【菜单】|【插入】|【设计特征】|【圆柱】命令，如图1-13所示。

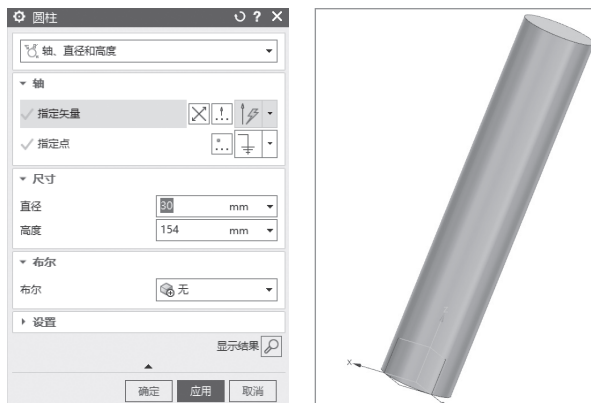


图 1-13 创建圆柱体

(2) 通过拉伸修剪体，选择【菜单】|【插入】|【设计特征】|【拉伸】命令，如图1-14所示。



图1-14 拉伸修剪体(1)

(3) 通过拉伸修剪体，如图1-15所示。

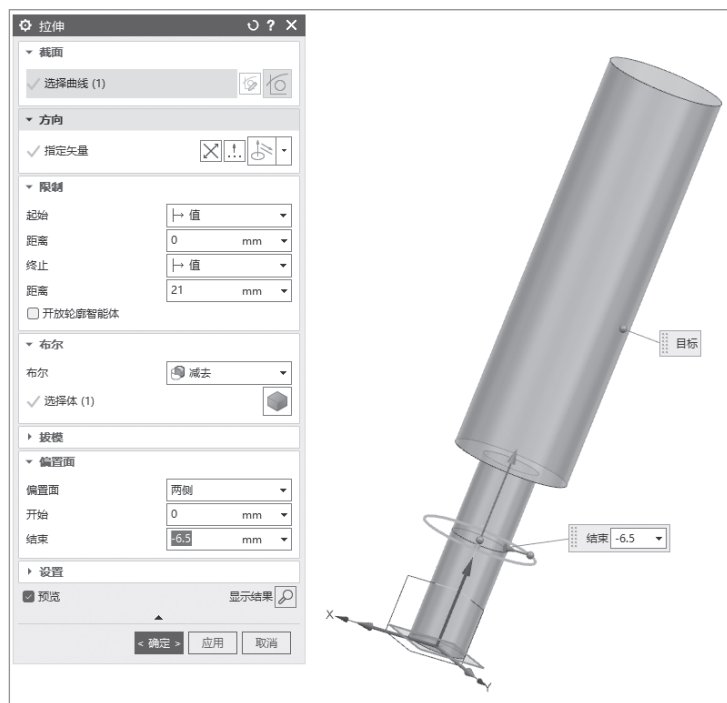


图1-15 拉伸修剪体(2)



(4) 通过拉伸创建退刀槽，如图1-16所示。

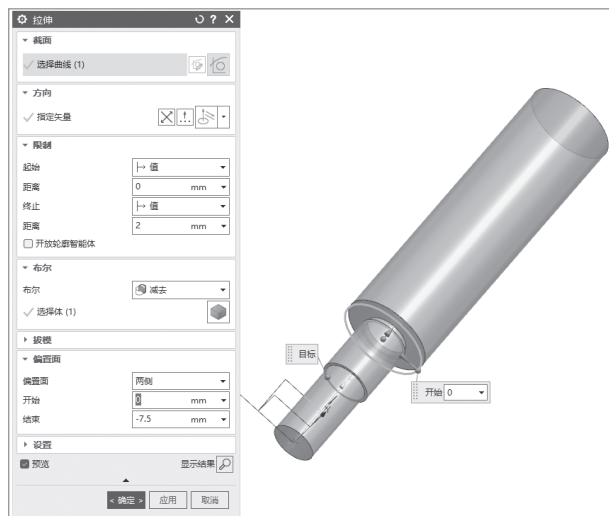


图1-16 创建退刀槽(1)

(5) 通过拉伸修剪体，如图1-17所示。

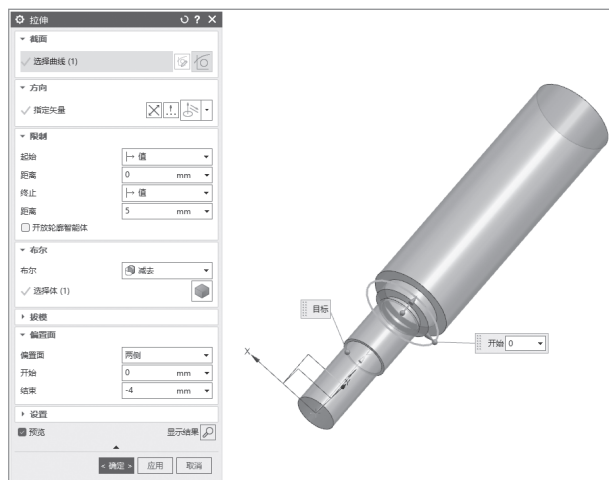


图1-17 拉伸修剪体(3)

(6) 通过拉伸创建退刀槽，如图1-18所示。

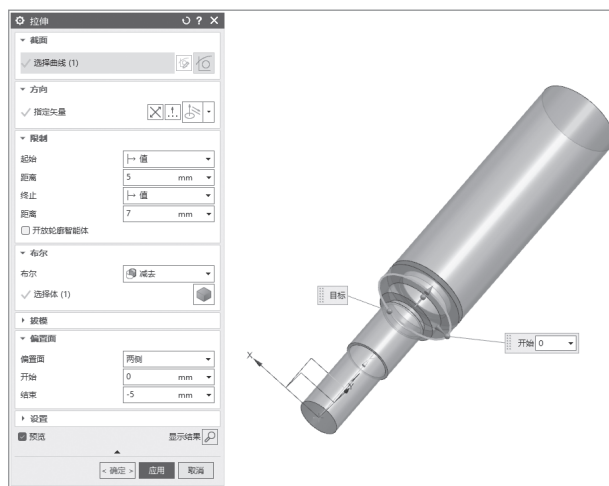


图1-18 创建退刀槽(2)

(7) 通过拉伸修剪体，如图1-19所示。

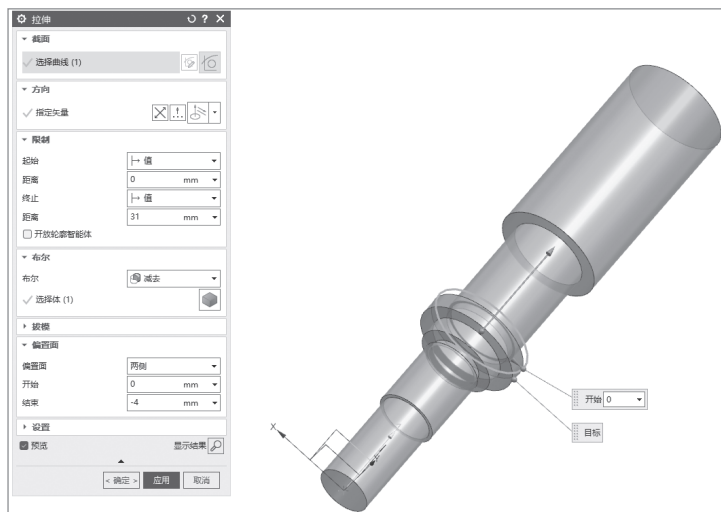


图1-19 拉伸修剪体(4)

(8) 通过拉伸修剪体，如图1-20所示。

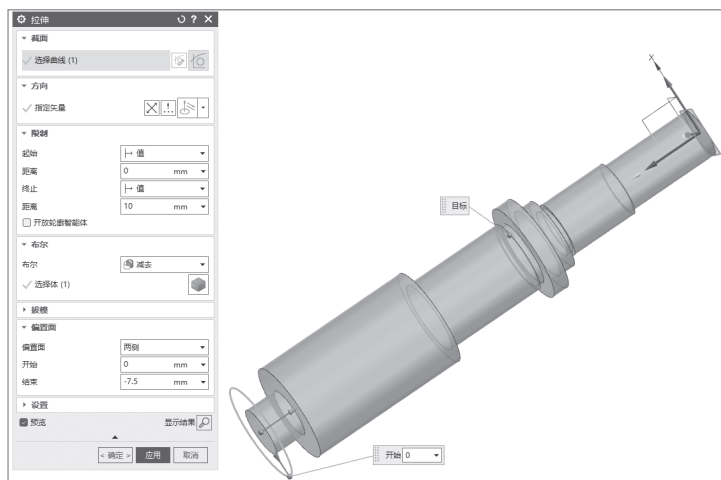


图1-20 拉伸修剪体(5)

(9) 通过拉伸修剪体，如图1-21所示。

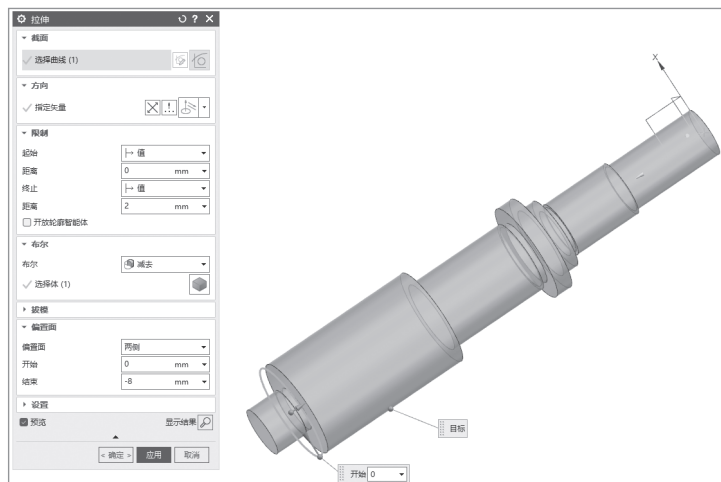


图1-21 拉伸修剪体(6)

(10) 通过拉伸修剪体，
如图1-22所示。

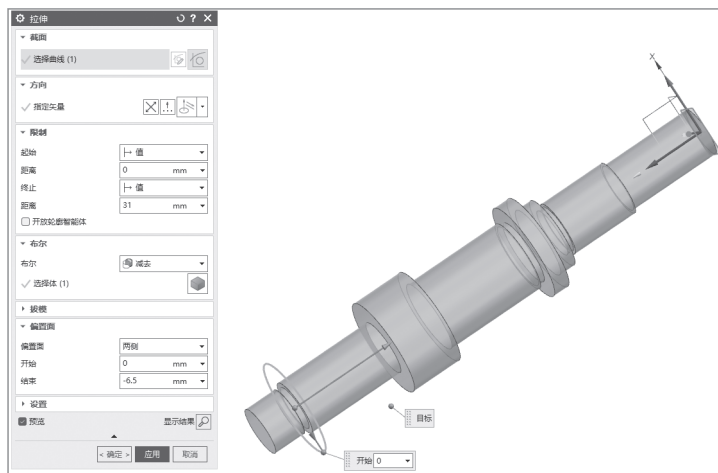


图1-22 拉伸修剪体(7)

(11) 通过拉伸修剪体，
如图1-23所示。

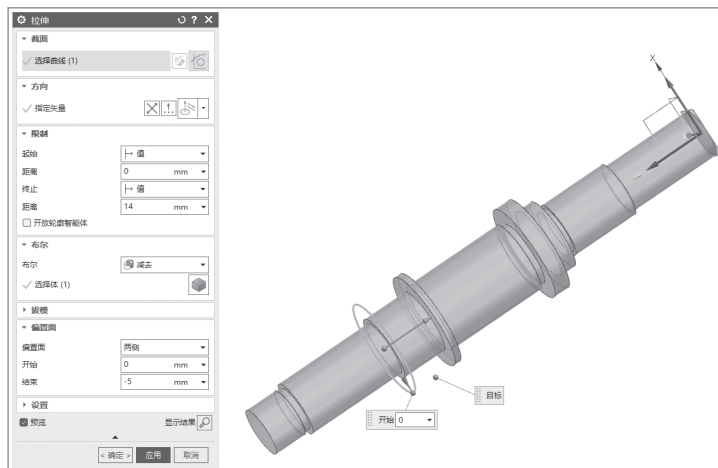


图1-23 拉伸修剪体(8)

(12) 通过拉伸创建退刀槽，
如图1-24所示。

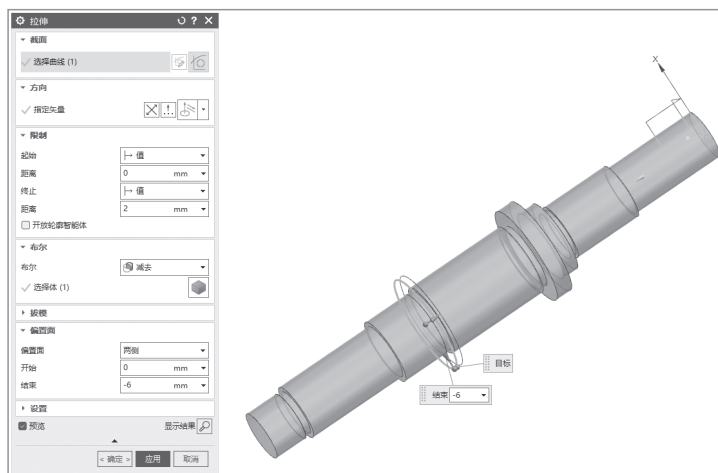


图1-24 创建退刀槽(3)

1.3.2 键槽特征创建

(1) 创建基准CSYS，选择【菜单】|【插入】|【基准】|【基准坐标系】命令，如图1-25所示。

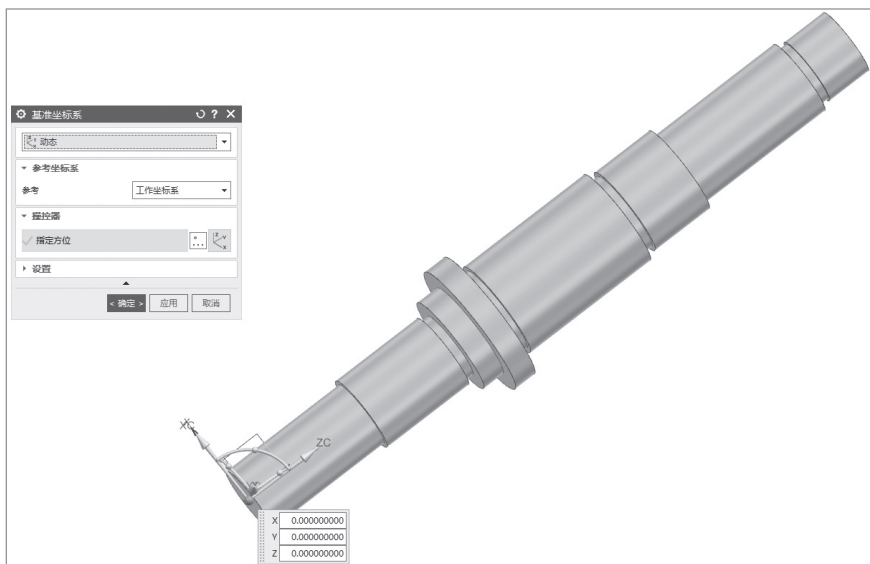


图 1-25 创建基准CSYS

(2) 创建基准平面，选择【菜单】|【插入】|【基准】|【基准平面】命令，创建与XZ平面距离为7.5mm的新平面，如图1-26所示。

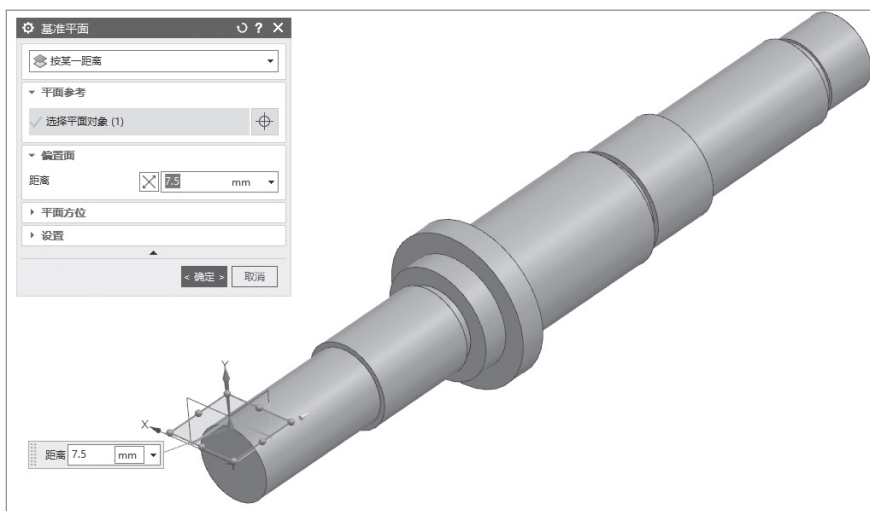


图 1-26 创建基准平面(1)

(3) 搜索【键槽】命令，在跳转的界面中选择【键槽】命令，如图1-27所示。

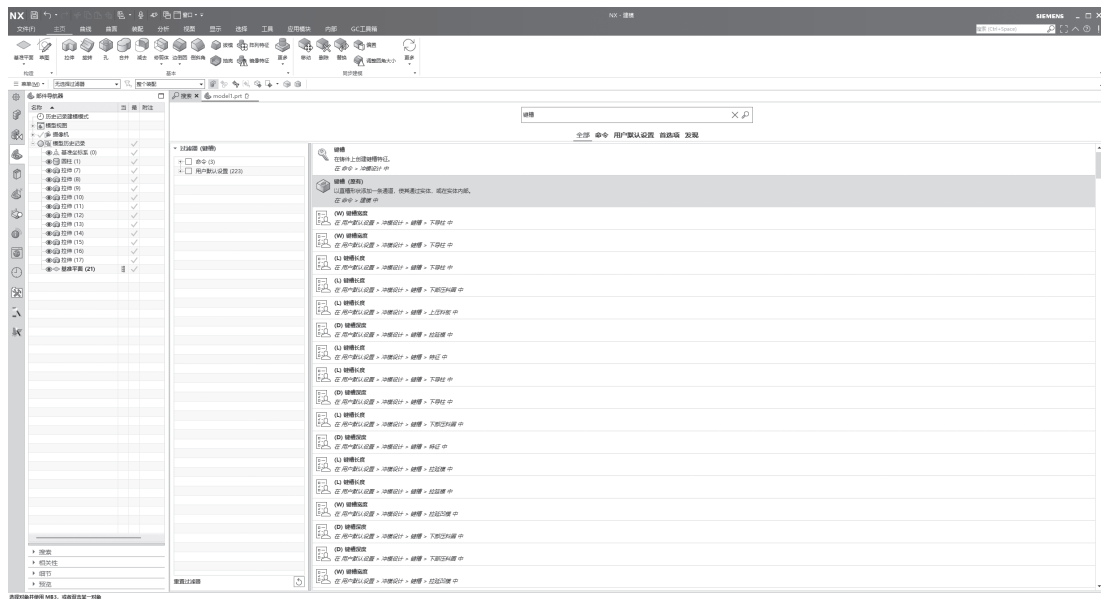


图1-27 搜索键槽命令

(4) 创建矩形槽，在跳转界面的【矩形槽】对话框中，选择新创建的基准平面，并选择【接受默认边】，如图1-28所示。

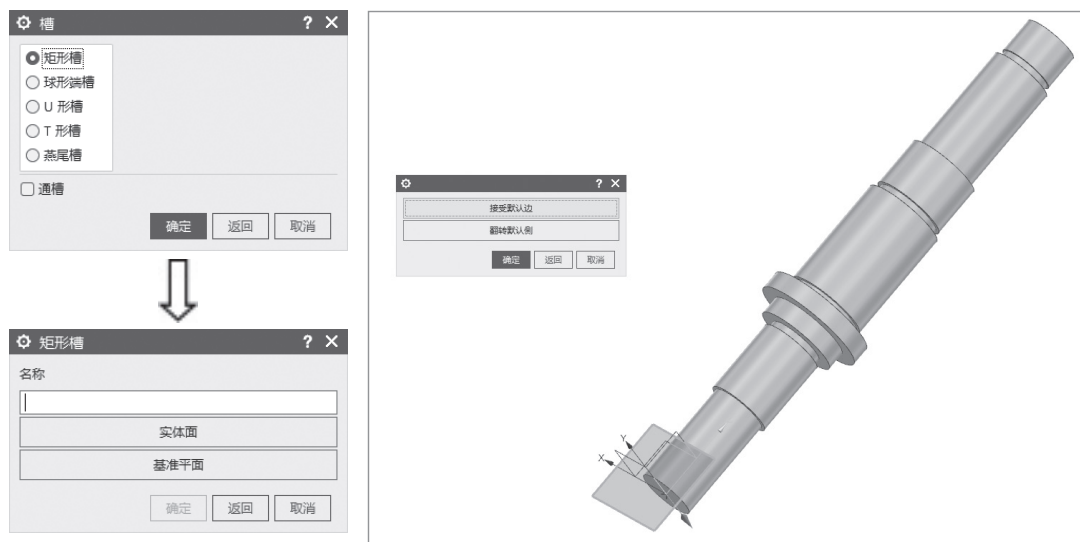


图1-28 创建矩形槽(1)

(5) 选择圆柱面作为水平参考，在跳转的【矩形槽】对话框选项中填入参数，如图1-29所示。

(6) 水平定位选择与端面距离为14mm，单击【确定】按钮，完成矩形槽的创建，如图1-30所示。

(7) 创建基准平面，如图1-31所示。

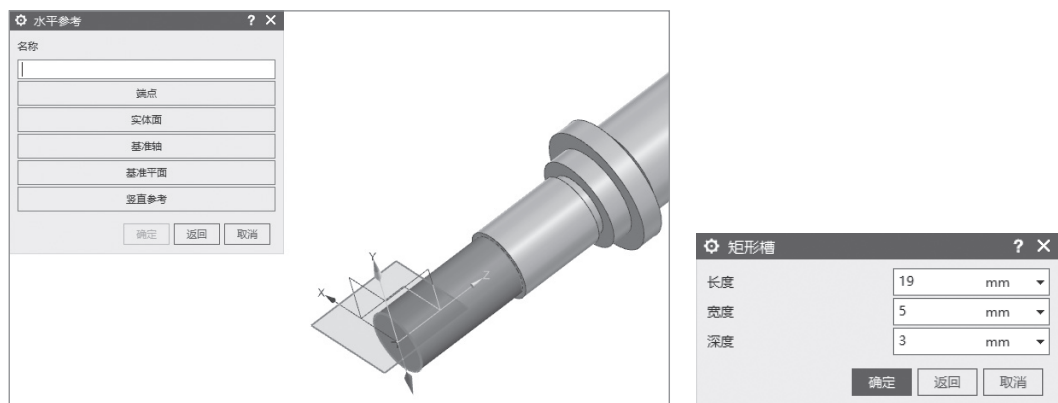


图 1-29 创建矩形槽(2)

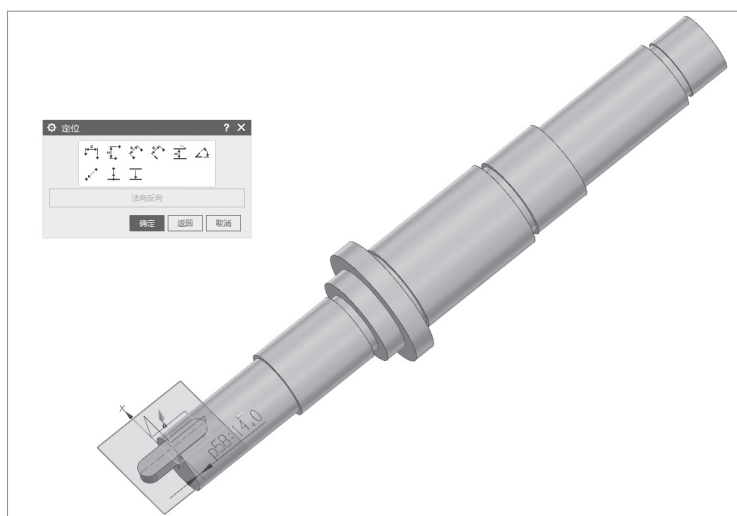


图 1-30 创建矩形槽(3)

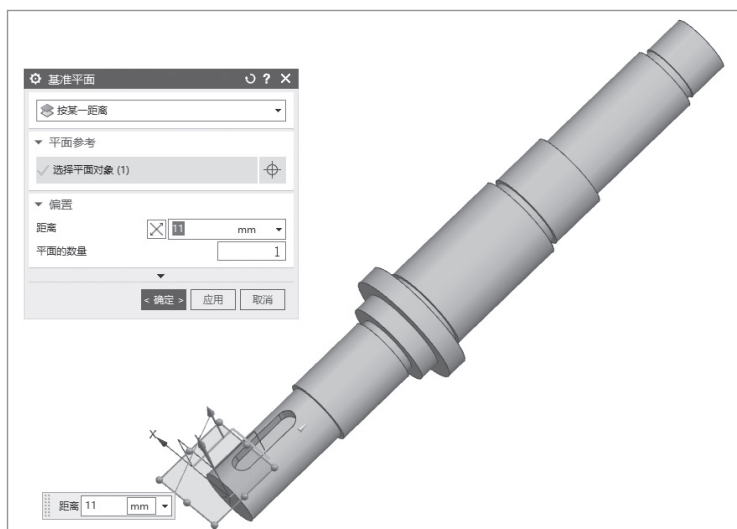


图 1-31 创建基准平面(2)



(8) 用同样的操作方法，创建新的矩形槽，如图 1-32 所示。

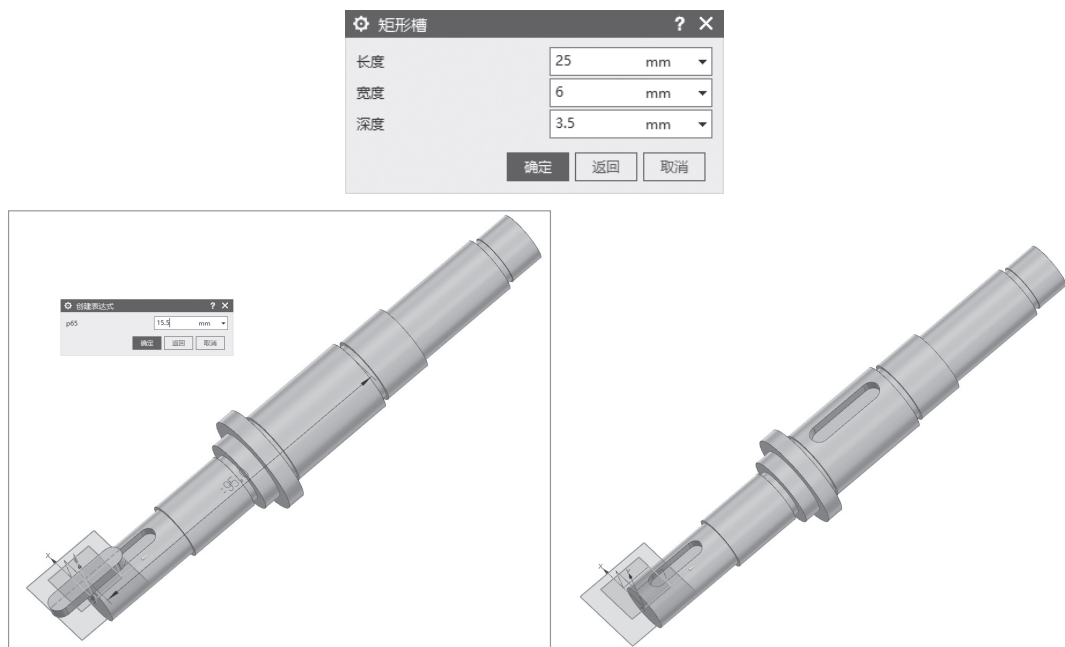


图 1-32 创建的另一个矩形槽

1.3.3 细节特征创建

(1) 创建倒斜角和边倒圆修饰特征，选择【菜单】|【插入】|【细节特征】|【倒斜角】、【边倒圆】命令，如图 1-33 所示。

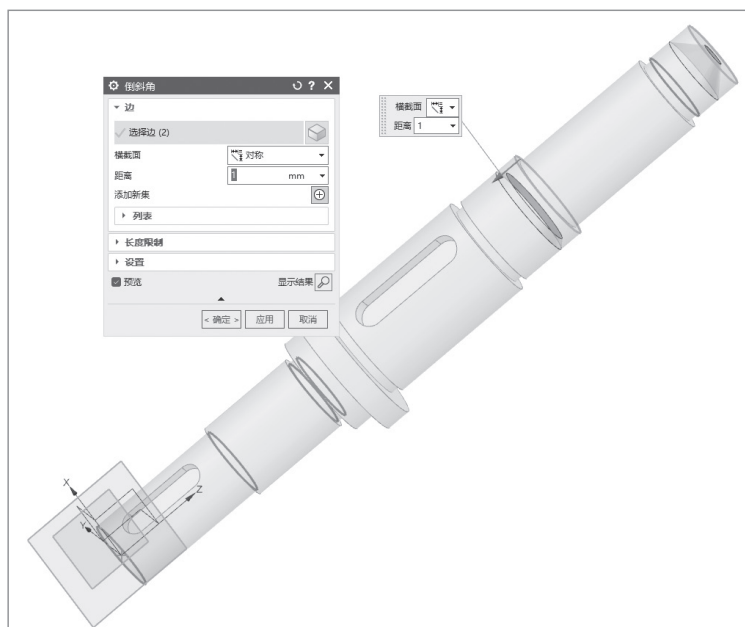


图 1-33 创建倒斜角、边倒圆



图1-33 创建倒斜角、边倒圆(续)

(2) 轴零件的最终模型如图1-34所示。

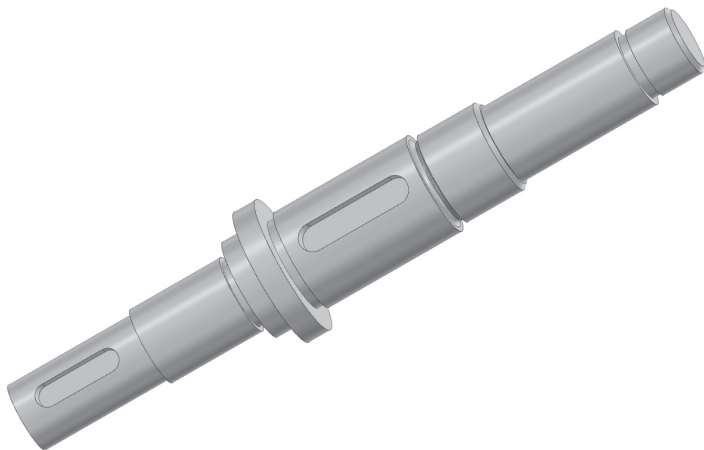


图1-34 轴零件最终模型

1.4 总结提升

轴零件建模实例主要通过【圆柱】【拉伸】【基准面】和【键槽】四个基本命令来创建零件的主体，再通过【边倒圆】和【倒斜角】两个命令对零件主体进行修饰，从而得到最终模型。通过这个快速入门案例，读者能够了解NX软件的建模思路，掌握简单圆柱零件的建模方法，并为后面的建模实例制作打下良好的基础。

第 2 章

吊钩草图绘制

项目要求

- 熟练使用NX软件的草图命令。
- 掌握本案例中的草图绘制思路。
- 熟练掌握吊钩草图的绘制方法。

2.1 案例分析

2.1.1 案例说明

本案例根据图纸ShiTi02.jpg所示完成吊钩的草图绘制，如图2-1所示。

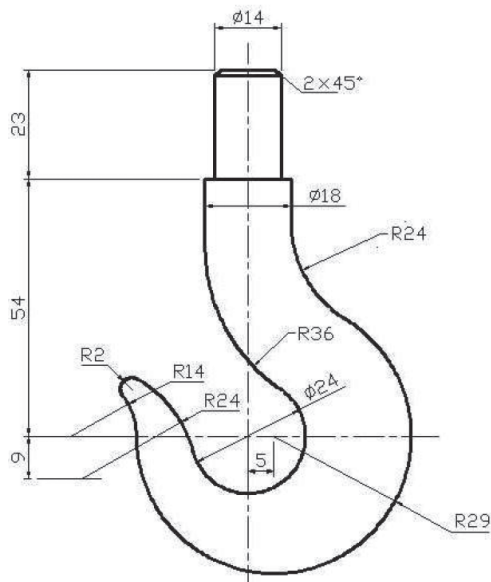


图2-1 吊钩草图示意图

2.1.2 思路分析

通过观察图纸，可以看出本案例中的吊钩主要由圆弧组成，因此草图绘制主要通过【圆】【圆弧】和【直线】命令完成。根据吊钩零件的特征，确定建模思路：先定位草图中心完成圆的绘制，再创建顶部的矩形，并与绘制的圆进行圆弧连接，最后完成前端的圆弧的绘制。具体建模流程如图2-2所示。

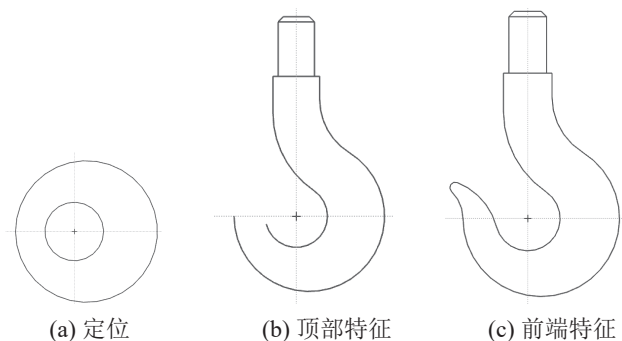


图2-2 建模流程示意

吊钩零件使用的建模命令及命令索引如表2-1所示。

表 2-1 吊钩零件使用的建模命令及命令索引

特征	建模命令	命令索引
定位	草图	2.2.1
	圆	2.2.3
顶部特征	直线	2.2.2
	修剪	2.2.6
	倒斜角	2.2.5
前端特征	圆弧	2.2.4
	圆角	2.2.5

2.2 知识链接

2.2.1 草图任务操作

NX软件为用户提供了一种十分方便的草图绘图工具，用来构建二维曲线轮廓。草图可以作为实体建模的特征横截面，也可以在曲面建模中作为曲线进行曲面的构建。在草图任务环境中，用户可按照自己的设计意图迅速勾画出零件的粗略二维轮廓，然后利用草图的尺寸约束和几何约束功能精确确定二维轮廓曲线的尺寸、形状和相互位置。当约束条件改变时，轮廓曲线也自动发生改变，因而使用草图功能可以迅速而准确地表达设计者的意图。

在NX软件中，草图被视为一种特征，每创建一个草图，部件导航器中就会添加一个草图



特征, 因此, 每添加一个草图, 部件导航器中就会添加一个相应的节点。部件导航器所支持的操作对草图也同样有效。

草图绘制任务操作的一般步骤如下。

(1) 新建草图任务。

在【主页】选项卡的【构造】功能区中单击【草图】命令图标, 可进入草图绘制界面, 如图2-3所示。

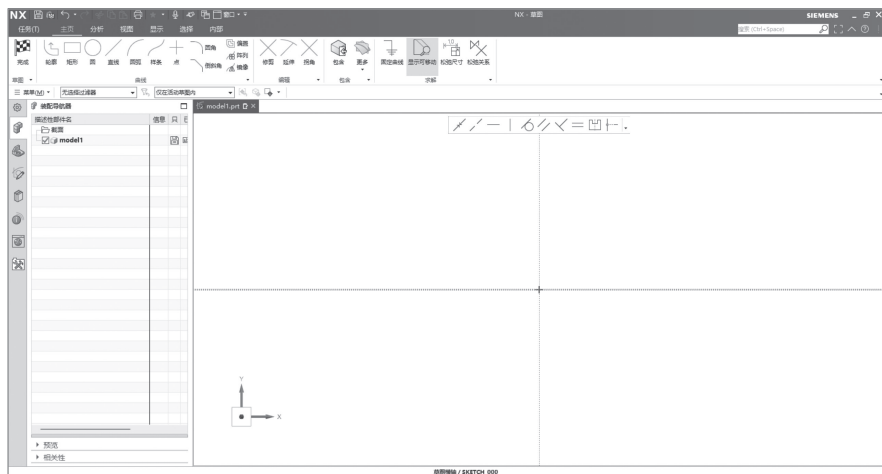


图2-3 草图绘制界面

在进行草图绘制之前, 用户要根据绘制需要选择草图工作平面(简称为草图平面), 如图2-4所示。草图平面是指用来附着草图对象的平面, 可以是坐标平面, 如XC-YC平面; 也可以是实体上的某一平面, 如长方体的某一个面; 还可以是基准平面。因此, 草图平面可以是任一平面, 即草图可以附着在任一平面上, 这给设计者带来了极大的设计空间和创作自由。

在【创建草图】对话框中, 创建类型包括【基于平面】和【基于路径】两种, 用户可以选择其中的一种作为新建草图的类型。按照默认设置, 选择【基于平面】, 即设置草图类型为在平面上的草图。

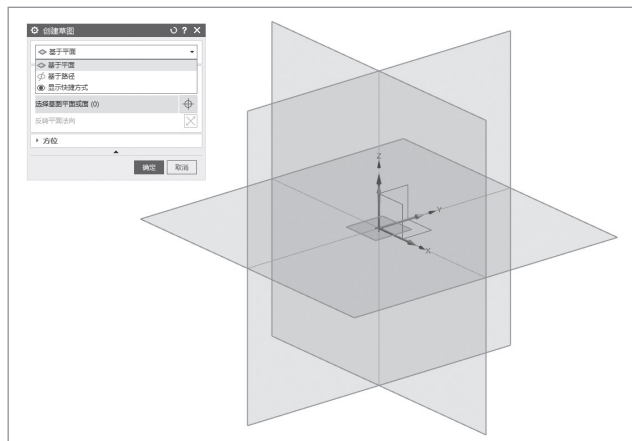


图2-4 选择草图平面

● 基于平面

选择此类型,即可将草图绘制在选定的平面或基准平面上。用户可以自定义草图的方向、草图原点等。【基于平面】类型的选项设置如图2-4所示。

● 基于路径

当用户为特征(如变化的扫掠)构建输入轮廓时,可以选择【基于路径】绘制草图。选择此类型,将在曲线轨迹路径上创建出垂直于轨迹、平行于轨迹、平行于矢量和通过轴的草图平面,并在草图平面上创建草图。【基于路径】类型的选项设置如图2-5所示。

(2) 检查和修改草图。

进行参数预设置。

草图参数预设置是指在绘制草图之前,设置一些操作规定。用户可以根据自己的需求进行个性化设置,例如,可以在【草图首选项】对话框(见图2-6)中进行草图设置、会话设置和部件设置。



图2-5 基于路径创建草图

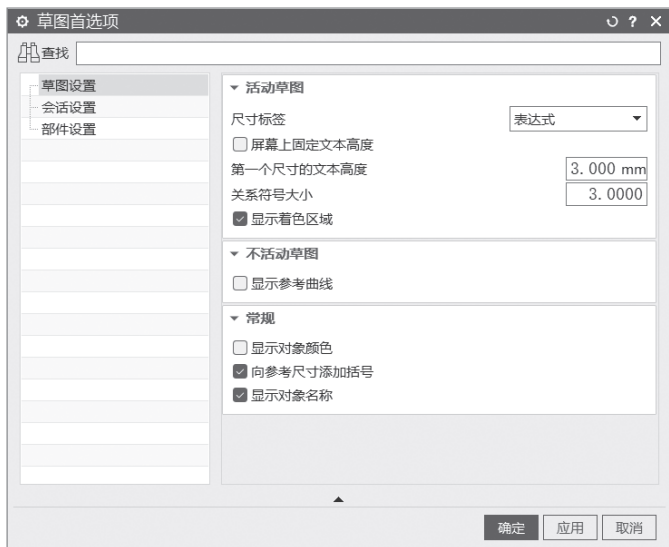


图2-6 【草图首选项】对话框

(3) 绘制和编辑草图对象。

创建草图工作平面后,就可以直接绘制并编辑草图对象,也可以将【曲线】功能区中的点、曲线、实体或片体上的边缘线等几何对象添加到草图中。【曲线】和【编辑】功能区如图2-7所示。

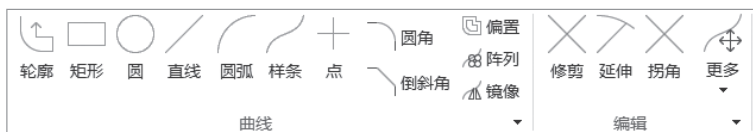


图2-7 【曲线】和【编辑】功能区

(4) 定义约束。

在绘制草图过程中,可以通过约束来限制草图图形的形状和大小,约束包括几何约束(限



制形状)和尺寸约束(限制大小)。

草图的约束命令在【求解】功能区中,如图2-8所示。调用了【显示可移动】命令后,系统会将可移动的草图曲线高亮显示。当草图曲线完全约束后,可移动的高亮曲线也会全部消失。

在NX 2406中如果想要进行尺寸约束,则可以先选择需要约束的对象,软件会自动将选中对象的所有关联尺寸显示出来,然后设计者可以根据实际情况,对需要的尺寸进行修改,也可以调用【求解】功能区中的尺寸约束命令,如图2-9所示。

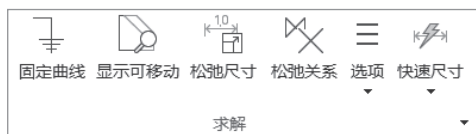


图2-8 【求解】功能区

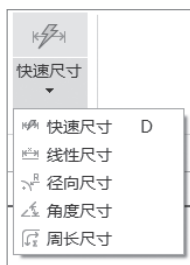


图2-9 尺寸约束命令

在NX 2406功能区中没有之前版本的几何约束功能图标,并精简了一些几何约束。在进行几何约束时,先选择对象,然后在绘图区域上方的快速提示窗口中选择对应的几何约束命令即可,如图2-10所示。

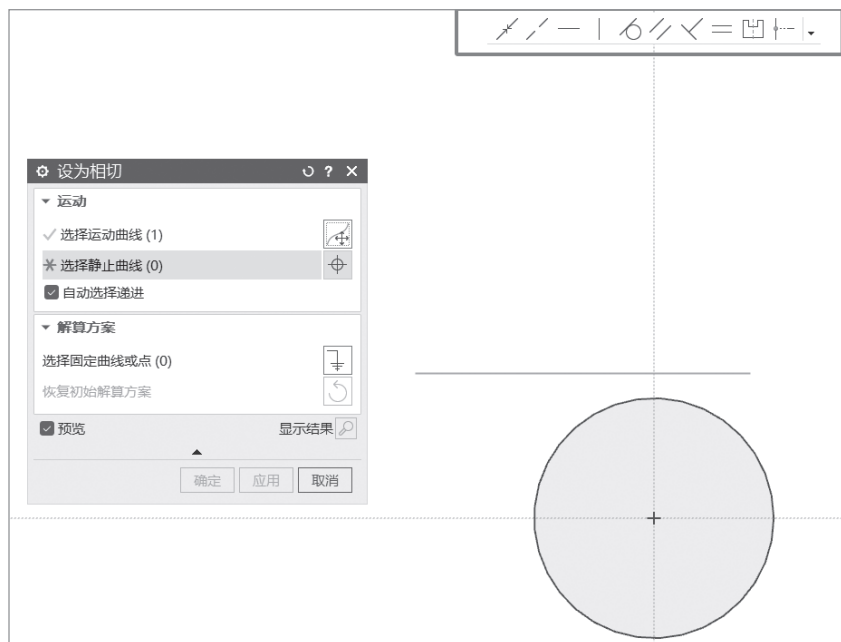


图2-10 选择几何约束命令

虽然对对象进行了几何约束,但是对象上并不会显示对应的几何约束图标。如果需要显示几何约束图标,可先在【求解】功能区的【选项】下拉菜单中打开【显示持久关系】与【创建持久关系】两个功能按钮,然后再按照之前的方法对对象进行约束,这样对象上就可以显示几何约束图标了。

需要注意的是, NX 2406 中的【松弛尺寸】和【松弛关系】这两个功能, 可以使草图暂时不存在尺寸或关系约束, 实现图形自由移动。图 2-11 所示为松弛尺寸的变化。

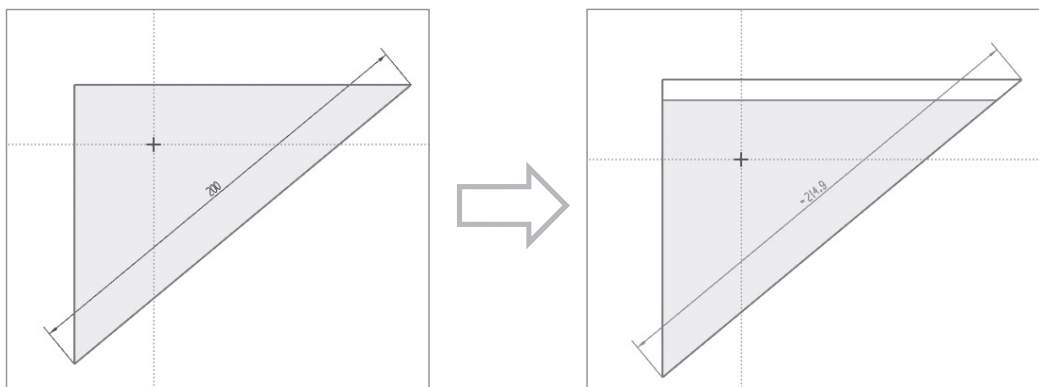


图 2-11 松弛尺寸变化

在草图绘制完成后, 可使用【着色区域显示】功能, 自动检查草图的图形是否封闭, 如图 2-12 所示。若封闭则会显示着色区域, 方便后续实体建模的拉伸、旋转等操作。该选项在【菜单】|【任务】|【草图设置】中进行选择。

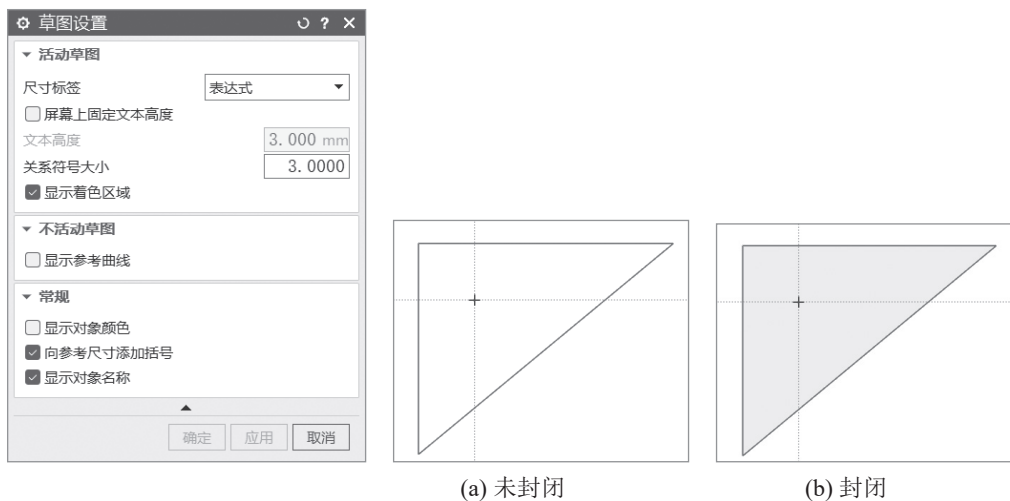


图 2-12 显示着色区域

完成全部草图图形绘制后, 即可单击草图任务界面左上角的【草图】功能区中的【完成】命令图标, 退出草图任务界面, 如图 2-13 所示。



图 2-13 【草图】功能区

2.2.2 直线命令解析

【直线】命令(见图 2-14)用于创建直线, 直线的输入模式包括坐标模式和参数模式。在坐标模式下, 可以通过输入起点和终点的坐标位置来绘制直线; 在参数模式下, 可以通过指定起始点的长度和角度参数来绘制直线。



图 2-14 【直线】命令



2.2.3 圆命令解析

【圆】命令(见图2-15)用于通过三点或指定其中心和直径来创建圆。



图2-15 【圆】命令

2.2.4 圆弧命令解析

【圆弧】命令(见图2-16)用于通过三点或指定其中心和端点来创建圆弧。



图2-16 【圆弧】命令

2.2.5 圆角和倒斜角命令解析

【圆角】和【倒斜角】命令(见图2-17)常用于进行图形倒角处理,包括倒圆角和斜角。【圆角】命令用于在两条或三条曲线之间创建圆角;【倒斜角】命令用于对两条草图线之间的尖角进行倒斜角。



图2-17 【圆角】和【倒斜角】命令

2.2.6 修剪命令和延伸命令解析

【修剪】命令可将曲线修剪到最近的交点或选定的曲线;【延伸】命令可将曲线延伸到另一邻近曲线或选定的曲线。两个命令的选项设置如图2-18所示。



图2-18 【修剪】和【延伸】命令

2.3 案例实施



吊钩草图绘制

本例绘制的是吊钩零件草图，吊钩零件的图纸如图2-1所示。根据思路分析，先确定草图的定位中心，再绘制圆、圆弧和矩形，矩形可利用【直线】命令绘制。

2.3.1 新建草图任务

在NX软件界面中，基于XC-YC平面创建草图，如图2-19所示。

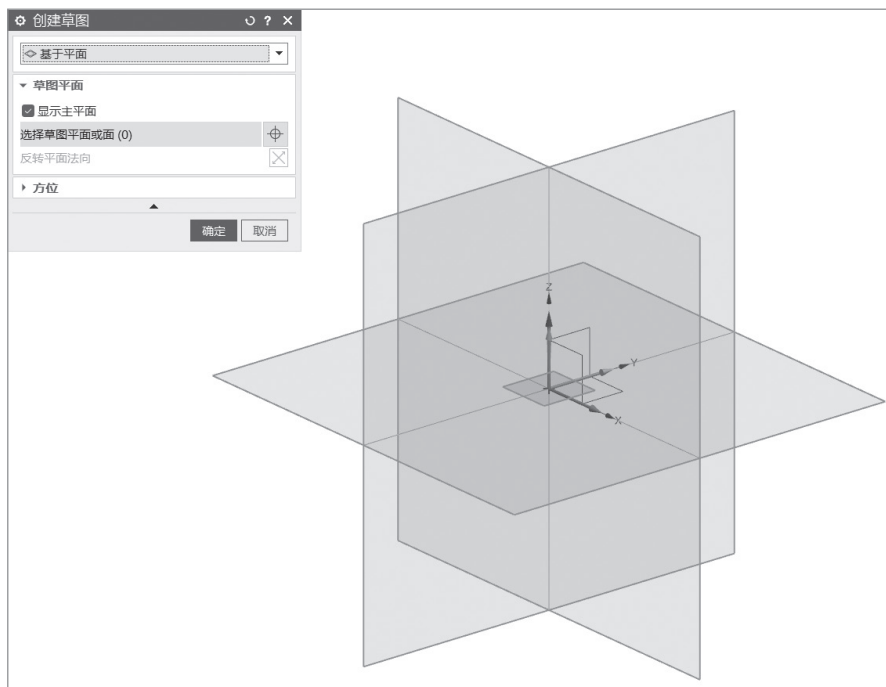


图2-19 基于XC-YC平面创建草图

2.3.2 确定草图定位中心

在草图任务界面，确定整个草图的定位中心，并绘制 $\Phi 58$ 和 $\Phi 24$ 的圆，如图2-20所示。

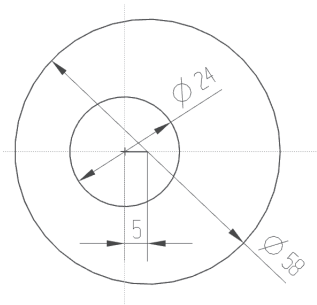


图2-20 确定定位中心



2.3.3 绘制矩形

绘制矩形, 通过【直线】和【倒斜角】命令完成矩形图形的绘制, 并添加约束, 如图2-21所示。

2.3.4 倒过渡圆角

完成吊钩图形中R24和R36两个过渡圆角的创建, 并使用【修剪】命令完成多余曲线长度的修剪, 如图2-22所示。

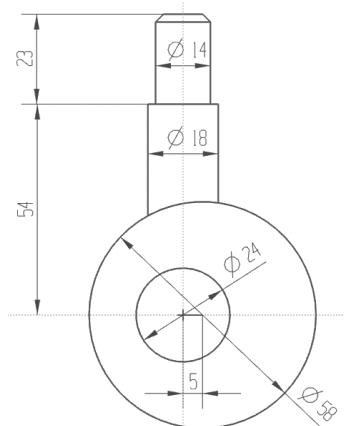


图2-21 绘制矩形

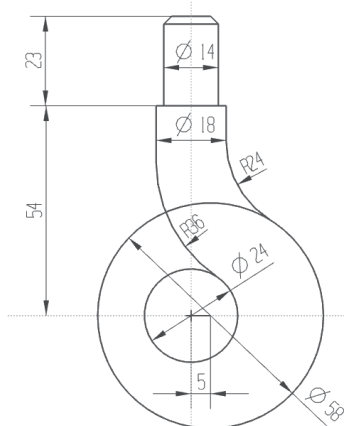


图2-22 倒过渡圆角

2.3.5 绘制圆弧

通过【圆弧】命令或【圆】命令绘制吊钩前端的两段圆弧, 如图2-23所示。

2.3.6 倒圆角

最后倒前端R2的圆角并修剪曲线, 最终的吊钩草图如图2-24所示。

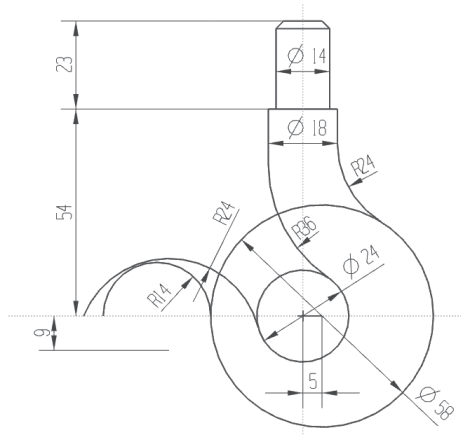


图2-23 圆弧绘制

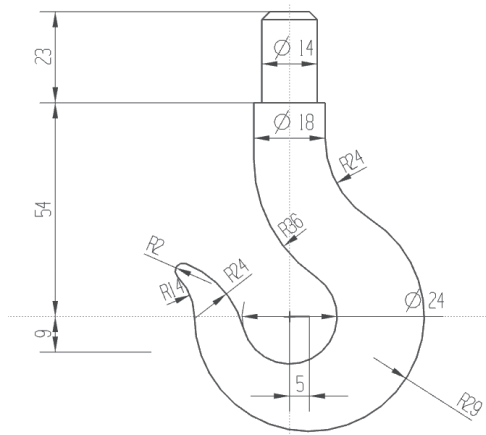


图2-24 最终的吊钩草图

2.4 拓展练习

垫片零件的绘制。要求：创建草图任务，绘制如图2-25所示的零件草图。利用【直线】和【圆弧】命令绘制图形，并且设置正确的几何约束和尺寸约束。

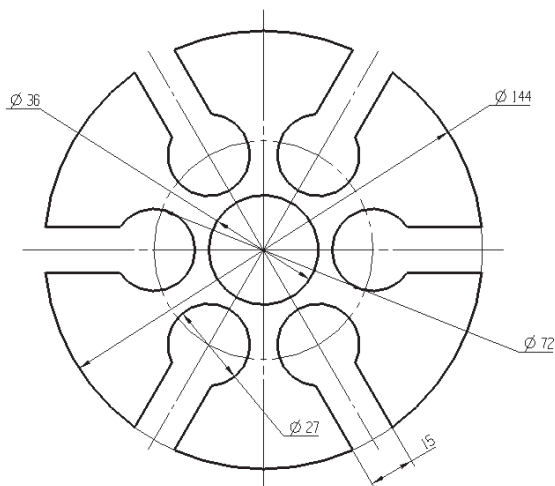


图2-25 垫片零件

引导问题：请简要叙述拓展练习案例的操作思路。

2.5 总结提升

吊钩零件草图的绘制主要通过草图任务中的【直线】【圆】和【圆弧】三个命令完成。在绘制出基本的形状之后，可以通过【修剪】【圆角】和【倒斜角】命令对草图进行细节处理，从而得到最终的草图。通过对本案例的学习，读者可以了解和掌握吊钩草图的绘制方法，为后面的草图绘制打下良好的基础。