

CAD/CAM 技能型人才培养系列教材

NX 三维数字化设计与仿真 (微课视频版)

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 2206 为蓝本,按 NX 的应用场景构成划分为 13 章,内容包括三维建模入门(第 1 章)、草图绘制(第 2 章)、实体建模(第 3~7 章)、曲面建模(第 8~10 章)、装配(第 11 章)、工程图(第 12 章)、运动仿真分析(第 13 章)。各章内容讲解以项目引导式展开,项目案例由简单到复杂,难度逐步提高,每个项目都由案例分析、知识链接、案例实施和总结 4 部分组成。

针对教学的需要,本书基于成熟的信息化平台配套提供了全新的立体教学资源库,包括素材库、试题库、视频库、拓展案例库、勘误表,不仅可以直接基于该信息化平台开展线上线下教学、聚合全过程的教学数据,而且便于学生复习、巩固、强化、提高,最终达到融会贯通的目的。

本书适合作为高等院校三维造型技术基础与应用等课程的教材,也可作为各类技能培训机构的教材,还可作为相关工程技术人员自学用书。

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

NX 三维数字化设计与仿真:微课视频版/吴立军,单岩,黄岗主编. —北京:清华大学出版社,2024.1
CAD/CAM 技能型人才培养系列教材
ISBN 978-7-302-64798-0

I. ①N… II. ①吴… ②单… ③黄… III. ①计算机辅助设计—应用软件—教材 ②计算机仿真—应用软件—教材 IV. ①TP391.72 ②TP391.9

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 204810 号

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:沈 露

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:三河市龙大印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:17.75 字 数:399 千字

版 次:2024 年 1 月第 1 版 印 次:2024 年 1 月第 1 次印刷

定 价:68.00 元

产品编号:097902-01

前言

产品建模是 CAD/CAM 技术中最基本和最常用的部分，它不仅是 CAD 的核心内容，而且是实施各种 CAD/CAM/CAE 技术(如 NC 编程、FEM 计算、仿真分析、数字孪生等)的必要前提。

NX 软件是德国西门子公司推出的一套集 CAD/CAM/CAE 于一体的软件集成系统，是当今世界上先进的计算机辅助设计、分析和制造软件，广泛应用于航空、航天、汽车、通用机械、船舶、石油化工和电子等工业领域。

本书编者从事 CAD/CAM/CAE 教学和研究多年，具有丰富的 NX 使用经验和教学经验。本书由 13 章组成，各章内容讲解以项目引导式展开，项目案例由简单到复杂，难度逐步提高，每个项目都由案例分析、知识链接、案例实施和总结 4 部分组成。其中，案例分析是本书的“灵魂”，每个案例都有其独特的制作思路和制作方法，而产品建模的精华就在于通过产品的外观和特征能够准确地对产品进行“庖丁解牛”，做到建模前“胸中有丘壑”的境界；知识链接部分着重对重要命令进行讲解，使学习者在使用命令的同时学到该命令更多的拓展知识；案例实施部分主要记录了产品建模的大概过程、建模思路、实战经验。本书还配有大量精心制作的视频，以呈现制作过程和建模思路，真正做到“基础知识、操作技能、应用思路和实战经验”四位一体的有机组成。

此外，我们发现，现有教材所配套的教学资源库有些许不足：内容少且资源结构不完整，一般仅提供少量的视频演示、练习素材、PPT 文档等；仅是资源的堆砌。为此，本书基于信息化教学平台提供配套的立体化教学资源库，包括素材库、试题库、视频库、拓展案例库、勘误表。其中，信息化教学平台可以提供配套的素材资源、发布教学活动、聚合教学客观数据(如采集学生的学习过程数据和结果数据等)，帮助教师实现过程管理，教师通过平台的课程分析功能也可及时评估教学目标达成情况及分析和发现问题；素材库包含了教材中案例配套的原始文件、结果文件及阶段性文件，便于学生边学边做；试题库提供了数百道 CAD 基础理论及功能操作的相关试题，包括填空、选择、是非、主观题等题型，便于学生了解自己对功能与理论知识的理解程度；视频库用于再现案例的实现过程，便于学生观摩学习，以帮助完成练习；拓展案例库则提供了更多的应用案例，可以帮助学生强化和拓展 CAD 的应用能力，将教材中所学习到的方法融会贯通。

教学资源获取方法：

- 普通用户(含学生)可通过以下步骤获得配套立体资源库：
 - ① 用 PC 端微信关注“学呗课堂”微信公众号。
 - ② 用手机号或邮箱注册“学呗课堂”。



③ 单击右上角的“+”按钮，选择“邀请码加班”，输入邀请码 XBKT-NVAJ(或任课教师提供的邀请码)。

④ 找到本书后点击，打开课程资源。

⑤ 在资源项目右侧点击选中资源，点击“分享”，复制链接地址，在浏览器中打开链接，点击资源下载。

- 院校用户(任课教师)可直接致电 010-62784096，或者发邮件至 476371891@qq.com 申请立体化教学资源(教师版)。

学生用资源也可通过 <http://www.tupwk.com.cn/downpage> 下载。

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。

限于编写时间和编者的水平，书中不妥之处在所难免，我们十分期望读者及专业人士提出宝贵意见与建议，以便今后不断加以完善。请通过以下方式与我们交流。

Email: 476371891@qq.com

电话: 010-62784096

编 者
2023 年 7 月

目 录

第 1 章 三维建模入门案例	1
1.1 案例分析	2
1.1.1 案例说明	2
1.1.2 思路分析	2
1.2 知识链接	3
1.2.1 设计的飞跃——从二维到三维	3
1.2.2 三维建模——CAX 的基石	4
1.2.3 三维建模相关概念	7
1.2.4 NX 软件介绍	9
1.2.5 图形交换标准	10
1.2.6 基于 NX 的产品设计流程	13
1.3 案例实施	14
1.4 总结	22
第 2 章 吊钩草图绘制	23
2.1 案例分析	24
2.1.1 案例说明	24
2.1.2 思路分析	24
2.2 知识链接	25
2.2.1 草图任务操作	25
2.2.2 直线命令解析	29
2.2.3 圆命令解析	30
2.2.4 圆弧命令解析	30
2.2.5 圆角和倒斜角命令解析	30
2.2.6 修剪和延伸命令解析	31
2.3 案例实施	31
2.3.1 新建草图任务	31
2.3.2 确定草图定位中心	32
2.3.3 绘制矩形	32
2.3.4 倒过渡圆角	32
2.3.5 绘制圆弧	33

2.3.6 倒圆角	33
2.4 拓展练习	34
2.5 总结	34
第 3 章 方向盘零件建模	35
3.1 案例分析	36
3.1.1 案例说明	36
3.1.2 思路分析	36
3.2 知识链接	37
3.2.1 实体建模概述	37
3.2.2 拉伸命令解析	38
3.2.3 管命令解析	41
3.2.4 移动对象命令解析	42
3.3 案例实施	44
3.3.1 外圆的创建	44
3.3.2 键槽的创建	45
3.3.3 轮辐的创建	45
3.4 拓展练习	47
3.5 总结	48
第 4 章 反射镜零件建模	49
4.1 案例分析	50
4.1.1 案例说明	50
4.1.2 思路分析	50
4.2 知识链接	51
4.2.1 基准特征	51
4.2.2 孔命令解析	52
4.2.3 旋转命令解析	53
4.3 案例实施	54
4.3.1 外圆主体特征建模	54
4.3.2 零件细节特征建模	56
4.3.3 孔特征创建	60



4.4 拓展练习	61	7.3.2 扫掠特征建模	102
4.5 总结	62	7.4 拓展练习	103
第 5 章 支撑桥零件建模	63	7.5 总结	104
5.1 案例分析	64	第 8 章 小家电外壳零件建模	105
5.1.1 案例说明	64	8.1 案例分析	106
5.1.2 思路分析	64	8.1.1 案例说明	106
5.2 知识链接	65	8.1.2 思路分析	106
5.2.1 圆柱体命令解析	65	8.2 知识链接	107
5.2.2 边倒圆命令解析	66	8.2.1 自由曲线与自由曲面的 基本原理	107
5.2.3 镜像特征命令解析	71	8.2.2 理解曲面建模功能	114
5.3 案例实施	71	8.2.3 曲线长度命令解析	119
5.3.1 创建连接柱	71	8.2.4 截面曲面命令解析	119
5.3.2 创建主体特征	72	8.2.5 修剪和延伸命令解析	120
5.3.3 创建侧耳特征	73	8.2.6 有界平面命令解析	121
5.4 拓展练习	79	8.2.7 缝合命令解析	121
5.5 总结	80	8.2.8 替换面命令解析	122
第 6 章 导向块零件建模	81	8.3 案例实施	122
6.1 案例分析	82	8.3.1 曲线创建	122
6.1.1 案例说明	82	8.3.2 主体特征创建	124
6.1.2 思路分析	82	8.3.3 凸台特征创建	132
6.2 知识链接	83	8.3.4 倒圆角及合并	134
6.2.1 拔模命令解析	83	8.4 拓展练习	136
6.2.2 倒斜角命令解析	85	8.5 总结	137
6.3 案例实施	85	第 9 章 油箱盖零件建模	139
6.3.1 实体特征创建	85	9.1 案例分析	140
6.3.2 细节特征调整	88	9.1.1 案例说明	140
6.4 拓展练习	92	9.1.2 思路分析	140
6.5 总结	93	9.2 知识链接	141
第 7 章 心形零件建模	95	9.2.1 基准平面命令解析	141
7.1 案例分析	96	9.2.2 修剪片体命令解析	142
7.1.1 案例说明	96	9.2.3 投影曲线命令解析	143
7.1.2 思路分析	96	9.2.4 抽取几何特征命令解析	145
7.2 知识链接	97	9.2.5 镜像特征命令解析	145
7.3 案例实施	101	9.2.6 扩大命令解析	146
7.3.1 零件草图绘制	101		

9.2.7 阵列几何特征命令解析·····147	第 11 章 脚轮的装配·····209
9.3 案例实施·····147	11.1 案例分析·····210
9.3.1 主体特征草图创建·····147	11.1.1 案例说明·····210
9.3.2 主体特征片体创建·····150	11.1.2 思路分析·····210
9.3.3 凹槽特征草图·····151	11.2 知识链接·····211
9.3.4 结构特征创建·····156	11.2.1 装配功能简介·····211
9.3.5 卡扣特征创建·····159	11.2.2 装配约束·····214
9.3.6 侧面特征的创建·····163	11.2.3 移动组件·····219
9.3.7 筋板结构特征创建·····164	11.2.4 部件间链接·····220
9.3.8 卡钩特征创建·····165	11.2.5 装配导航器的使用·····221
9.3.9 卡钩加强筋特征创建·····171	11.2.6 爆炸视图的创建·····222
9.3.10 表面小凹槽特征创建·····175	11.3 案例实施·····223
9.4 拓展练习·····177	11.3.1 “叉架”组件装配·····224
9.5 总结·····178	11.3.2 “轮子”组件装配·····224
第 10 章 便携式吸尘器外壳零件建模·····179	11.3.3 “销”组件的装配·····226
10.1 案例分析·····180	11.3.4 “垫圈”组件的装配·····227
10.1.1 案例说明·····180	11.3.5 “轴”组件的装配·····229
10.1.2 思路分析·····180	11.4 拓展练习·····230
10.2 知识链接·····181	11.5 总结·····231
10.2.1 直纹命令解析·····181	第 12 章 法兰轴工程图绘制·····233
10.2.2 加厚命令解析·····183	12.1 案例分析·····234
10.2.3 修剪体命令解析·····183	12.1.1 案例说明·····234
10.2.4 偏置区域命令解析·····183	12.1.2 思路分析·····235
10.2.5 布尔运算命令解析·····184	12.2 知识链接·····235
10.3 案例实施·····185	12.2.1 工程制图概述·····235
10.3.1 草图创建·····185	12.2.2 工程图纸的创建与编辑·····236
10.3.2 主体特征创建·····186	12.2.3 视图的创建·····239
10.3.3 顶部特征创建·····190	12.2.4 视图编辑·····247
10.3.4 侧边圆柱特征创建·····195	12.2.5 尺寸标注与注释·····252
10.3.5 侧孔特征的创建·····198	12.2.6 参数预设设置·····253
10.3.6 加强筋特征创建·····198	12.3 案例实施·····253
10.3.7 后边孔特征的创建·····202	12.3.1 新建图纸页·····253
10.3.8 加强筋特征的创建·····203	12.3.2 创建基本视图·····254
10.4 拓展练习·····207	12.3.3 创建旋转剖视图·····255
10.5 总结·····207	12.3.4 创建投影视图·····256



12.3.5	创建剖视图	256	13.2	知识链接	266
12.3.6	创建局部放大图	257	13.2.1	NX 软件的运动模拟 设计	266
12.3.7	编辑剖视图背景	257	13.2.2	运动模拟设计功能介绍	267
12.3.8	工程图标注	258	13.3	案例实施	270
12.4	拓展练习	262	13.3.1	创建连杆模型	271
12.5	总结	263	13.3.2	四连杆装配	272
第 13 章	四连杆机构的运动模拟	265	13.3.3	运动模拟设计	272
13.1	案例分析	266	13.4	拓展练习	276
13.1.1	案例说明	266	13.5	总结	276
13.1.2	思路分析	266			



第 1 章

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。

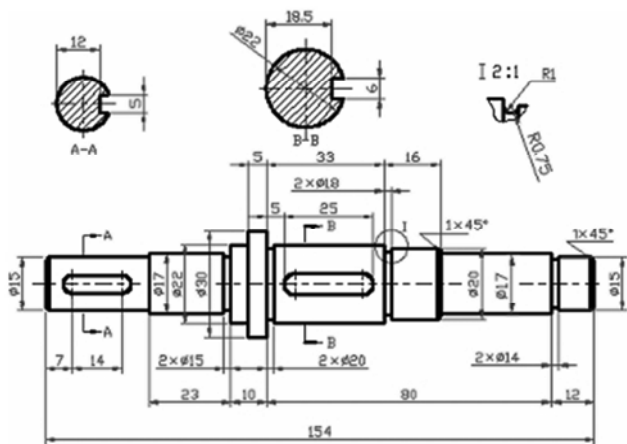


图 1-1 建模示意图

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，确定建模思路为，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。

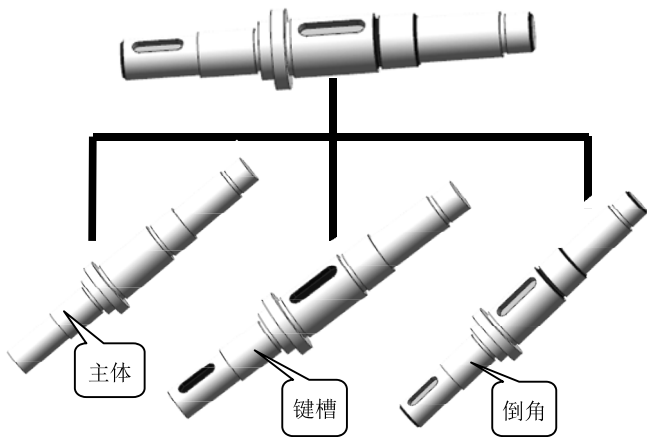


图 1-2 建模流程示意图

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。

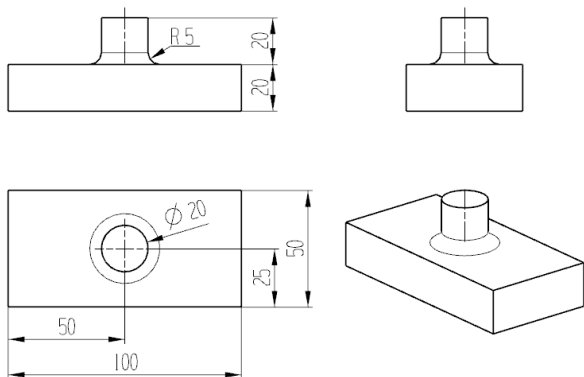


图 1-3 工程图

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的三维的、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。

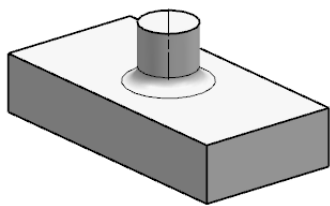


图 1-4 产品的三维模型

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。

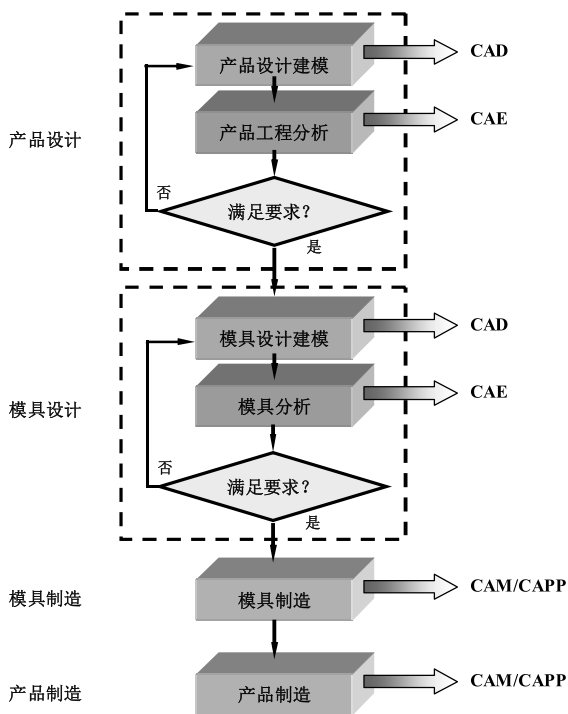


图 1-5 模制产品的开发流程

(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。

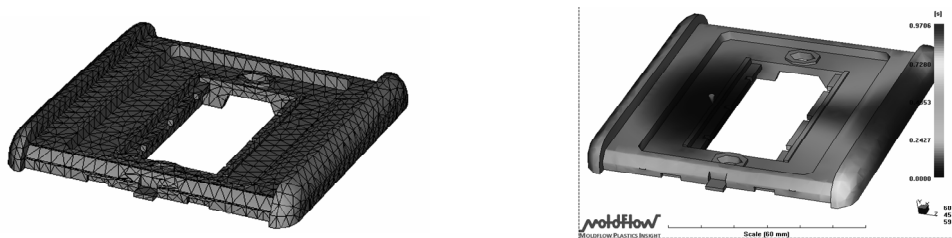


图 1-7 产品的 CAE 分析

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，刀具所走的路线。刀具按照这样的路线进行加工，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。

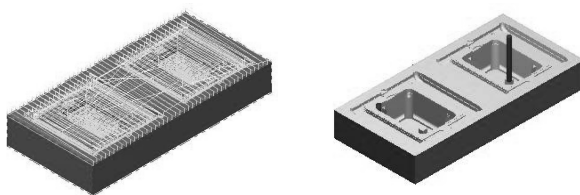
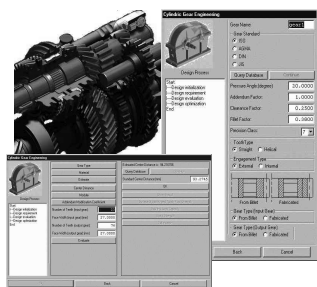


图 1-8 产品的 CAM 加工

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。

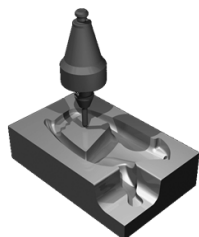
事实上，除了模制产品之外，其他产品的 CAD、CAM、CAE 也都离不开三维建模技术。从产品的结构设计，到产品的外观造型设计；从正向设计制造到逆向工程、快速原型，都离不开三维建模，如图 1-9 所示。



产品结构设计



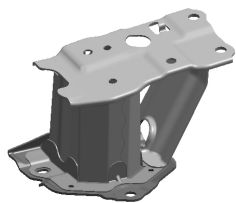
产品外观造型设计



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，然后再在 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、左右两个方向可以选择，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、前后三个方向可以选择，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图形对象，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

(续表)

比较项目	图 形	图 像
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 2206,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。

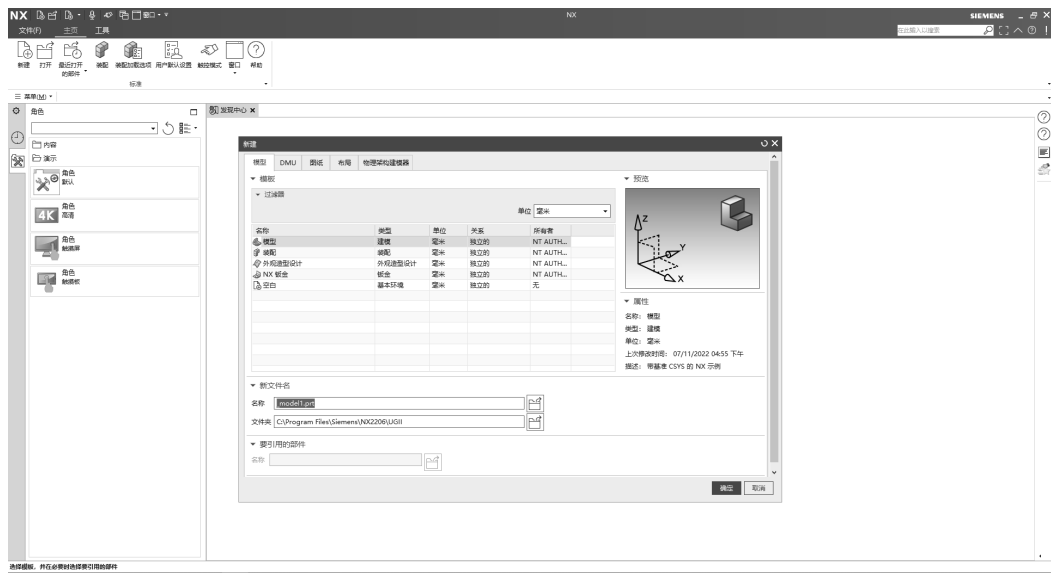


图 1-10 NX 2206 运行界面

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。同时,NX 软件还可以基于生成的三维模型直接生成数控代码,用于产品加工,并支持多种类型的数控机床。另外,它所提供的二次开发语言 UG/OPEN GRIP、UG/OPEN API,便于用户开发专用的 CAD 系统,并实现更多的功能。

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。

1.2.5 图形交换标准

1. 二维图形交换标准(DXF)

DXF(digital exchange format)是二维 CAD 软件 AutoCAD 系统中使用的图形数据文件格

式。DXF 虽然不是图形数据交换标准,但由于 AutoCAD 系统在二维绘图领域的普遍应用,使得 DXF 成为事实上的二维数据交换标准。DXF 是具有专门格式的 ASCII 码文本文件,它易于被其他程序处理,主要用于实现高级语言编写的程序与 AutoCAD 系统的连接,或者其他 CAD 系统与 AutoCAD 系统的图形文件交换。

2. 初始图形交换规范(IGES)

IGES(initial graphics exchange specification, 初始图形交换规范)是基于曲面的图形交换标准,由美国国家标准协会(ANSI)于 1980 发布,目前在工业界应用最广泛,是不同 CAD、CAM 系统之间进行图形信息交换的一种重要规范。

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, 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。

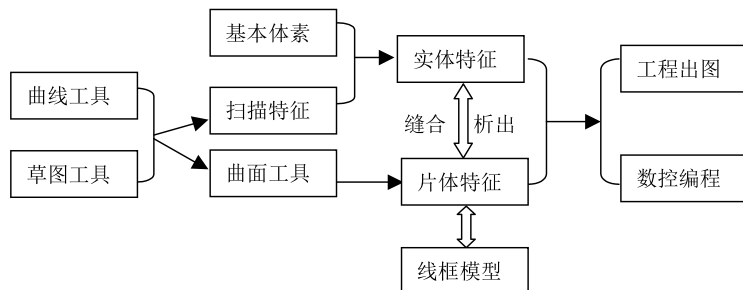


图 1-12 产品设计流程图



三维建模入门案例

1.3 案例实施

(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。

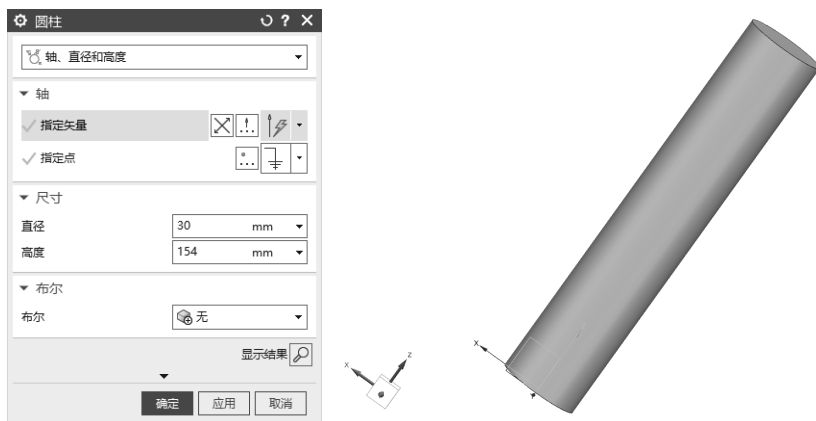


图 1-13 创建圆柱体

(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。

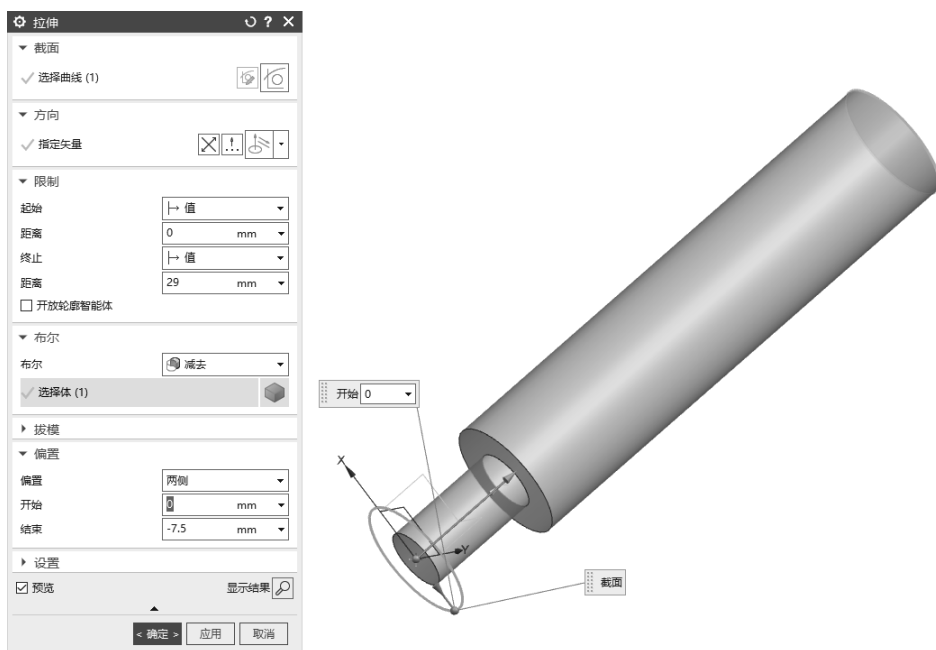


图 1-14 拉伸修剪体(1)

(3) 通过拉伸修剪体，如图 1-15 所示。

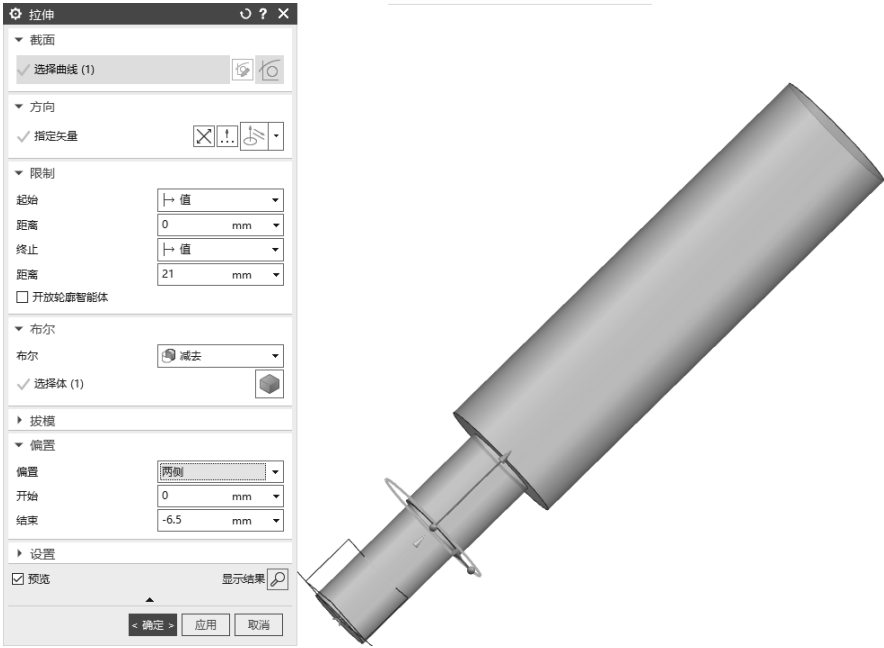


图 1-15 拉伸修剪体(2)

(4) 通过拉伸创建退刀槽，如图 1-16 所示。

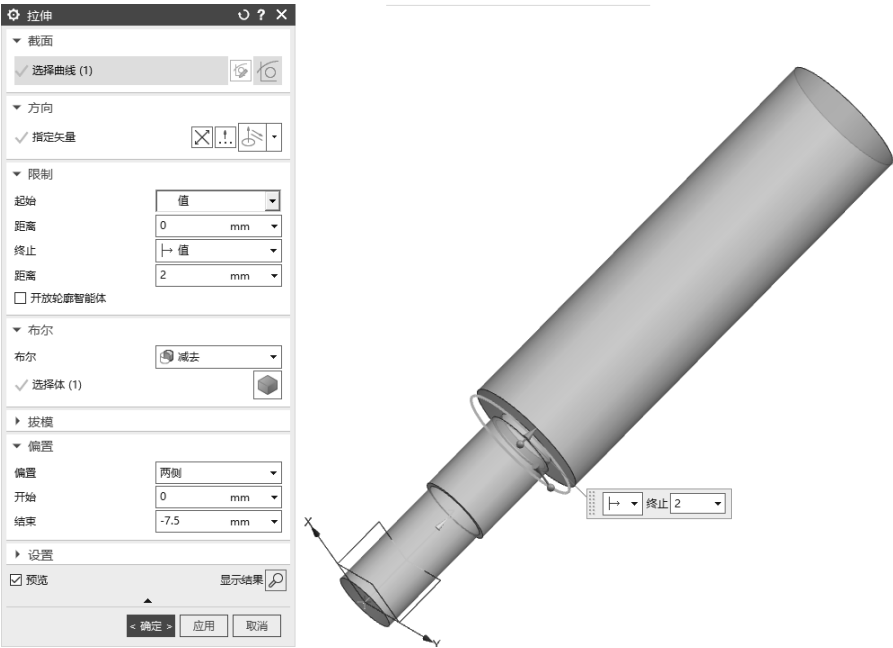


图 1-16 创建退刀槽(1)



(5) 通过拉伸修剪体，如图 1-17 所示。

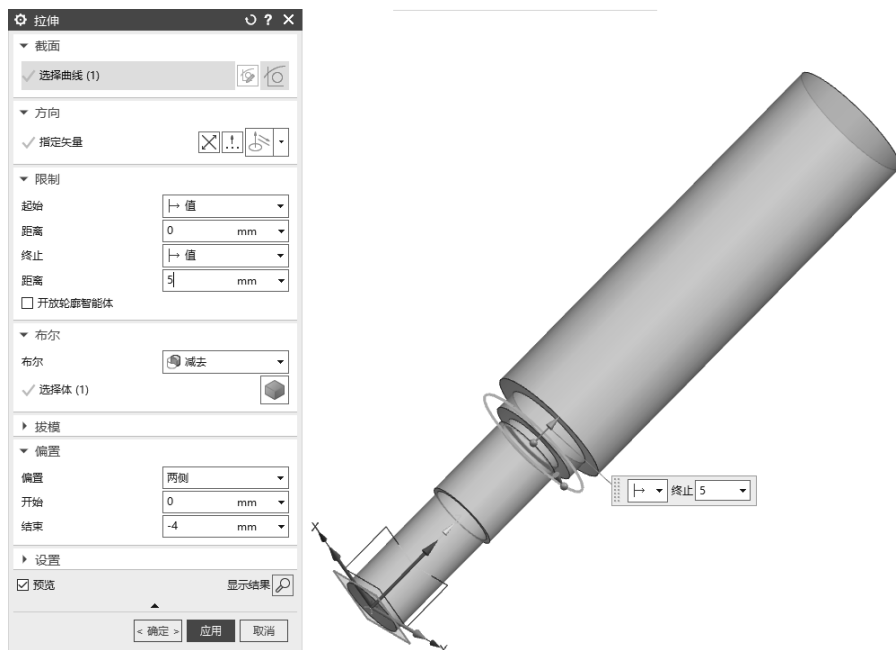


图 1-17 拉伸修剪体(3)

(6) 通过拉伸创建退刀槽，如图 1-18 所示。

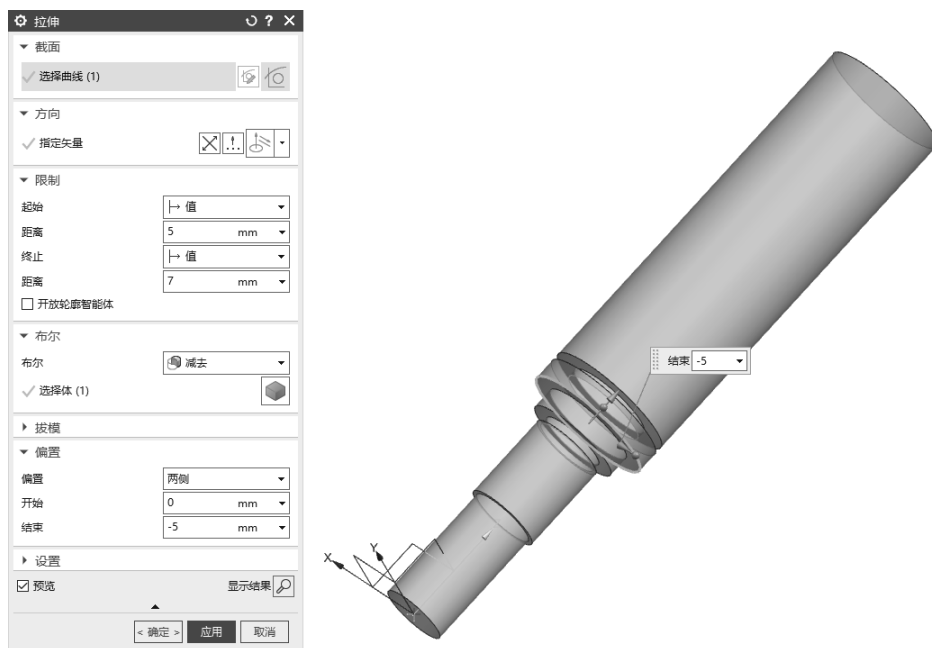


图 1-18 创建退刀槽(2)

(7) 通过拉伸修剪体, 如图 1-19 所示。

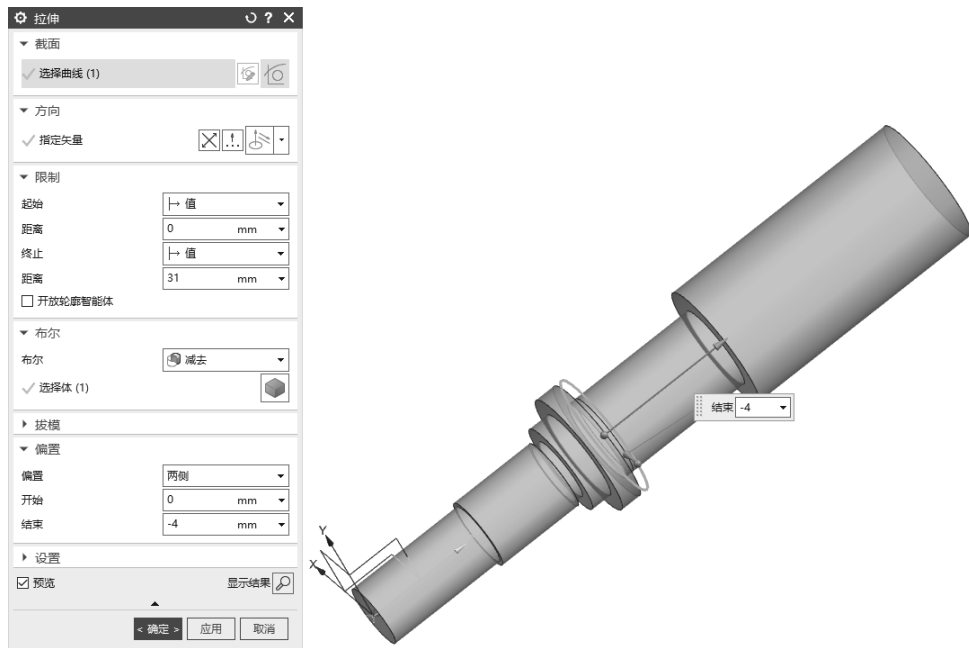


图 1-19 拉伸修剪体(4)

(8) 通过拉伸修剪体, 如图 1-20 所示。

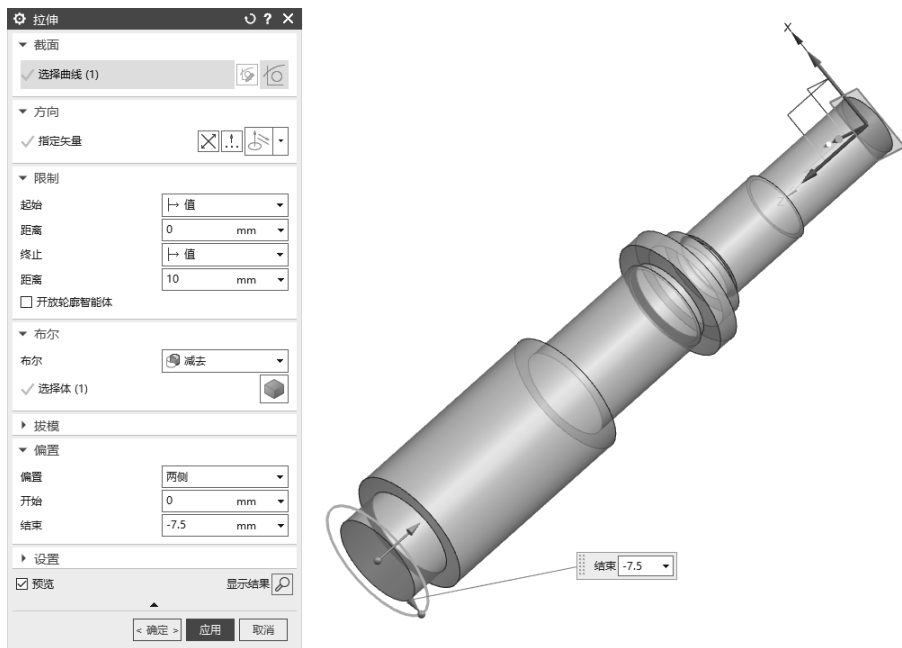


图 1-20 拉伸修剪体(5)



(9) 通过拉伸修剪体，如图 1-21 所示。

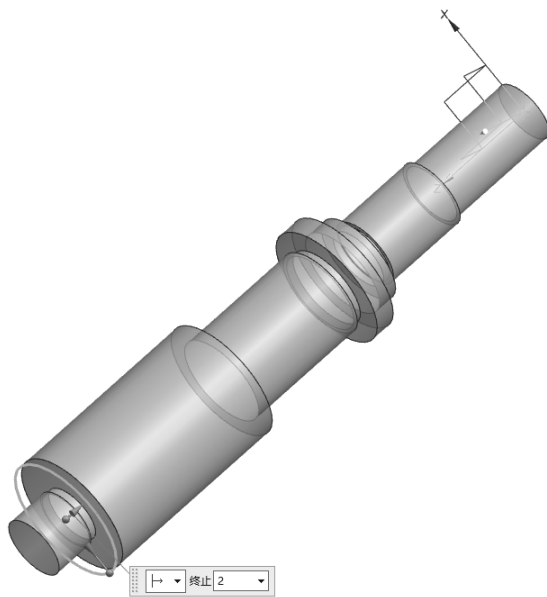


图 1-21 拉伸修剪体(6)

(10) 通过拉伸修剪体，如图 1-22 所示。

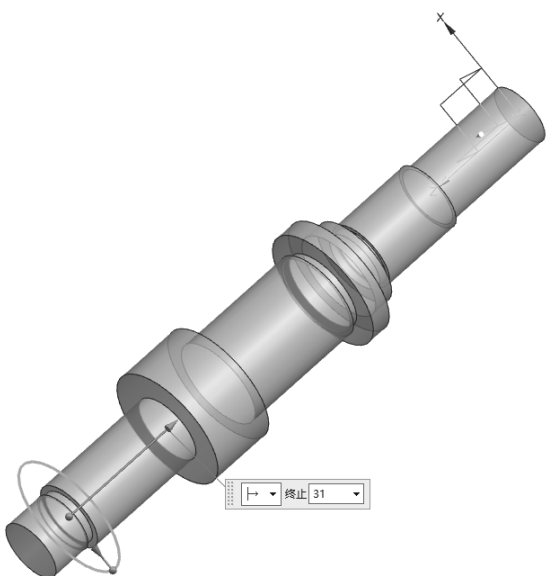


图 1-22 拉伸修剪体(7)

(11) 通过拉伸修剪体，如图 1-23 所示。

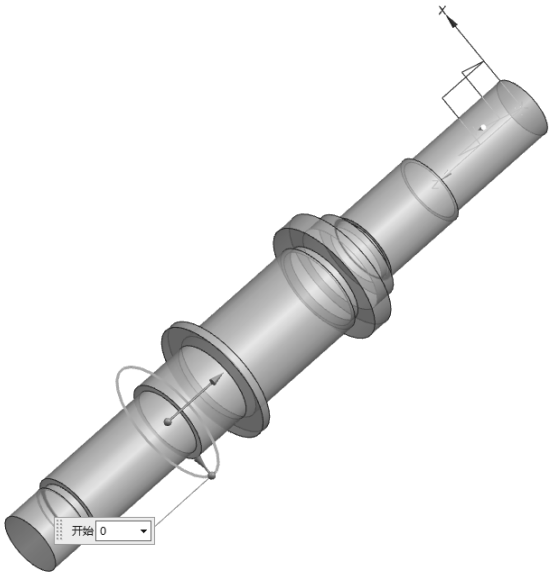


图 1-23 拉伸修剪体(8)

(12) 通过拉伸创建退刀槽，如图 1-24 所示。

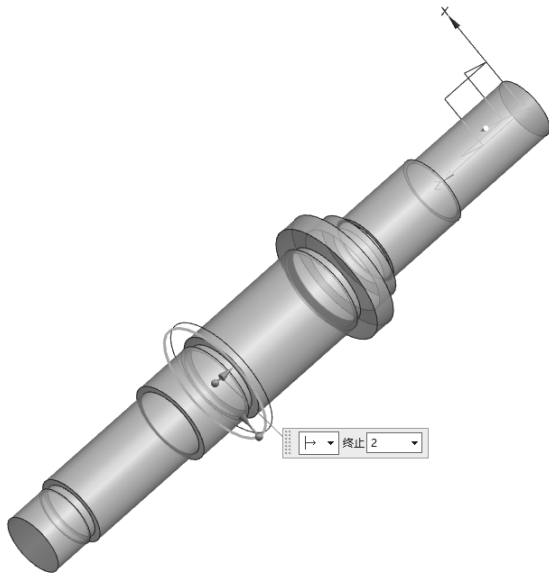


图 1-24 创建退刀槽(3)



(13) 创建基准 CSYS，如图 1-25 所示。

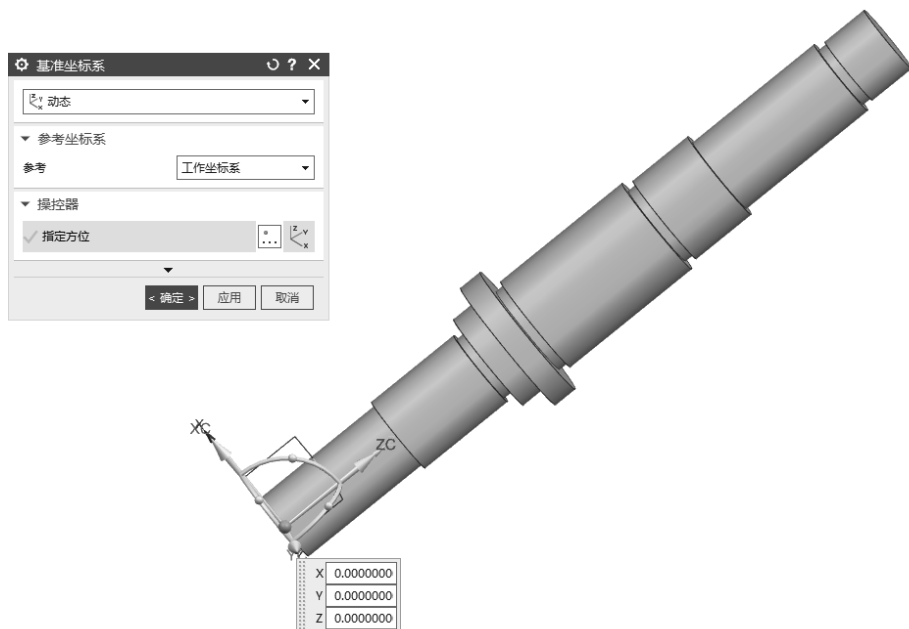


图 1-25 创建基准 CSYS

(14) 创建基准平面，选择【菜单】|【插入】|【基准】|【基准平面】命令，如图 1-26 所示。

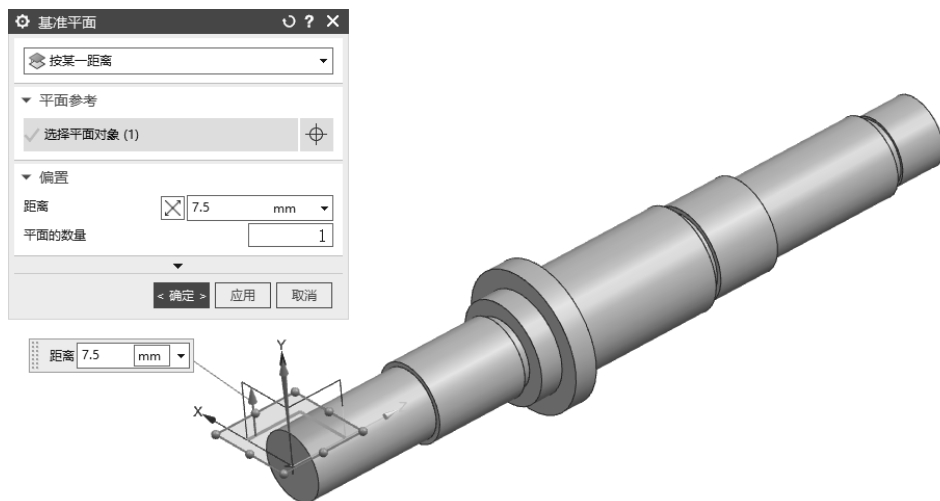


图 1-26 创建基准平面(1)

(15) 创建矩形槽，搜索【键槽】命令，选择【矩形槽】，如图 1-27 所示。

(16) 创建基准平面，如图 1-28 所示。

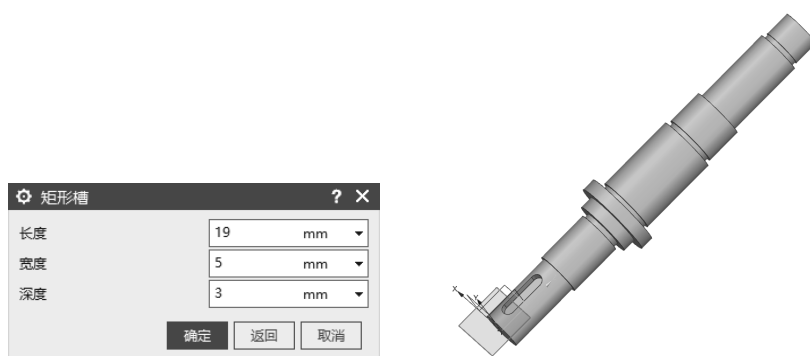


图 1-27 创建矩形槽(1)

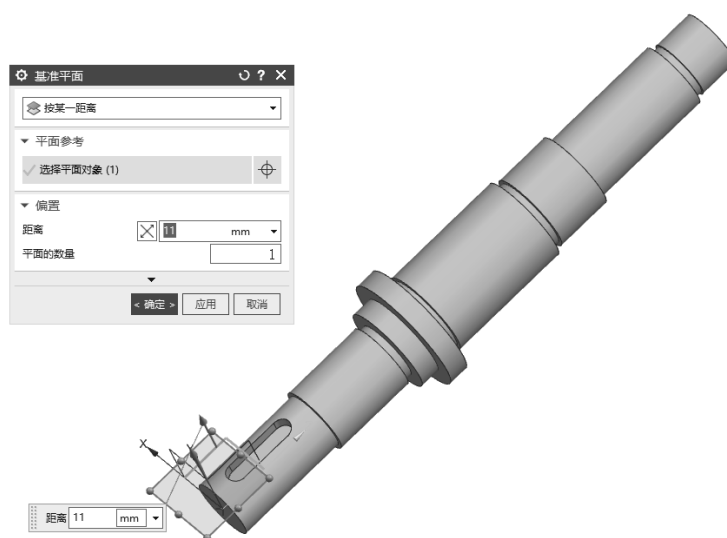


图 1-28 创建基准平面(2)

(17) 创建矩形槽，如图 1-29 所示。

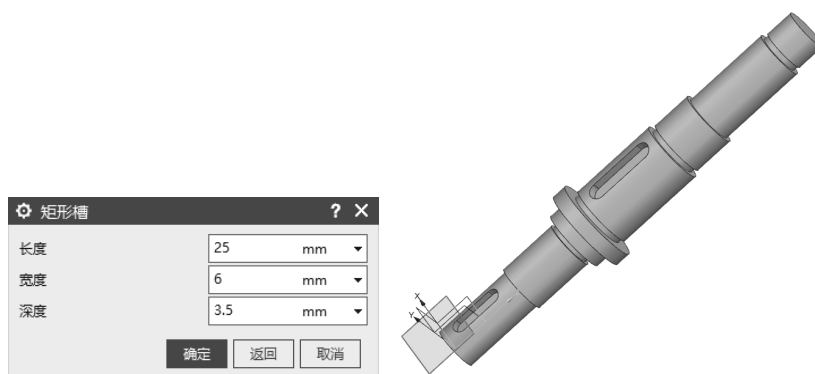


图 1-29 创建矩形槽(2)



(18) 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 1-30 所示。

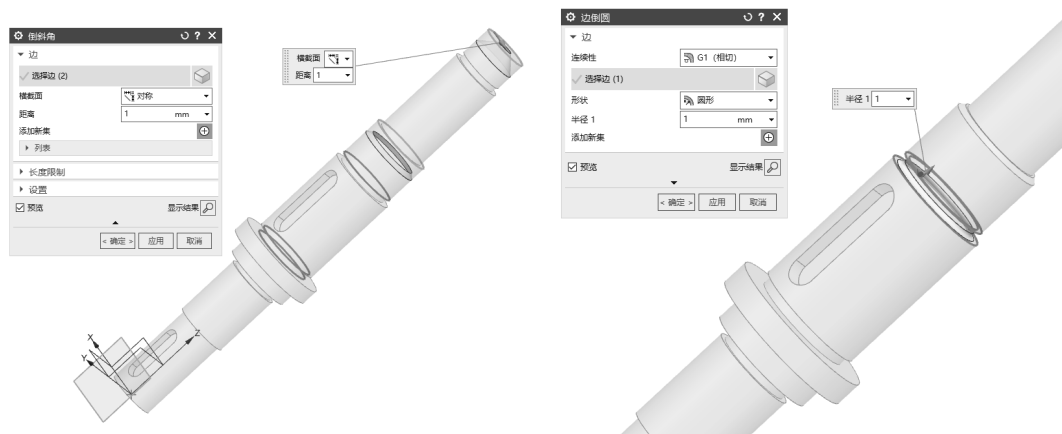


图 1-30 创建倒斜角、边倒圆

(19) 轴零件的最终模型如图 1-31 所示。

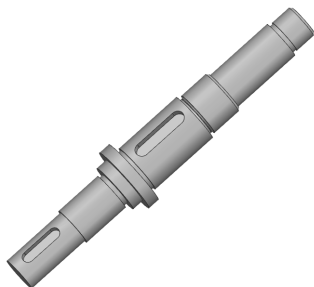


图 1-31 轴零件最终模型

1.4 总结

轴零件建模实例主要通过【圆柱】【拉伸】和【键槽】三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。