

# 从三维建模、虚拟装配 到数控加工

王亚辉 著

2



科学出版社

# 从三维建模、虚拟装配 到数控加工

王亚辉 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书主要介绍各种机构的三维建模、虚拟装配及其主要零部件的数控加工技术。首先,以 CAXA 软件为平台,利用 CAXA 实体设计的 CAD 功能完成机构中所有零件的三维建模,并进行定位装配;然后对典型零件的加工工艺进行设计,确定加工刀具类型,制定工艺卡片;最后利用 CAXA 软件的 CAM 功能对机构典型零件进行加工仿真,生成零件的刀具轨迹路径。仿真无误后经过后置处理输出 NC 代码,并把 NC 代码加载到 VNUC 仿真软件里进行试切,实时模拟零件实际的加工过程,预测切削过程的正确性,确保所生成的零件加工程序完全正确可靠,保证刀具与机床部件和夹具间不发生碰撞和干涉。

本书可供普通高等院校机械类及其相关专业的教师和研究生,以及科研机构和企业中从事 CAD/CAM 技术研究的工程技术人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

从三维建模、虚拟装配到数控加工/王亚辉著. —北京:科学出版社,2016  
ISBN 978-7-03-049854-0

I. ①从… II. ①王… III. ①机械设计-应用软件 IV. ①TH122-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 217766 号

责任编辑:陈 婕 / 责任校对:郭瑞芝  
责任印制:张 伟 / 封面设计:蓝正设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2017 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017 年 2 月第一次印刷 印张:21

字数:410 000

定价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

《中国制造 2025》(国发〔2015〕28 号),是我国实施制造强国战略的第一个十年的行动纲领。在从制造业大国向制造业强国转变的背景下,开展新一代信息技术与制造装备融合的集成创新和工程应用研究尤为重要。其中,依托优势企业,对关键工序智能化、生产过程智能优化控制、供应链优化,是建设智能工厂/数字化车间过程中的关键要素。

中国制造行业存在大而不强的局面,整体实力与发达国家相比还存在较大差距。随着近几年国际制造业格局的调整,中国经济进入了转型期,产业不断升级给制造业带来了巨大的压力,这就需要有大批的制造技术人员快速成长。

随着互联网+、云服务和智能工厂/数字化车间等的提出,对制造行业企业而言,实现生产过程智能优化控制和关键工序最优化是技术变革的必然。本书顺应《中国制造 2025》文件指示精神,为企业的关键工序智能化、生产过程智能化控制提出了理论基础,为智能工厂/数字化车间提供了依据,为实现企业的数字化控制与管理奠定了基础。

本书详细讨论了六种机构的三维建模、虚拟装配及其典型零件的数控加工技术,主要以六种机构中各个零件的三维建模、虚拟装配以及每种机构的典型零件数控加工的后置处理、加工仿真和优化等为核心内容,以 CAXA 实体设计、制造工程师、数控车、VNUC 仿真软件为技术平台,结合数控加工工艺优化等内容,对六种机构的数控加工进行了较为全面的研究。研究结果证明:VNUC 仿真软件与 CAXA2013 软件的完美结合,能有效地检测加工过程中刀具与机床部件及刀具与工件夹具之间的干涉碰撞和工件的过切,为刀位的修改提供依据,这是一种解决数控仿真加工行之有效的办法,具有非常重要的理论意义和实用价值。

一部学术著作,有没有价值就在于其有没有创新。本书从三维建模到 NC 加工这个老问题的新角度出发,勾勒出了一个完整的逻辑体系;在内容的安排上,既充分吸收全国数控大赛最新教学改革成果,又渗透了作者长期教学积累的经验与体会。作者曾带领学生在实训基地亲自实践操作过书中涉及的每个项目,并将 CAD/CAM、数控加工等相关知识贯穿到了校级大学生创新创业项目中,接受了理论和实践的巨大挑战。

本书可作为普通高等院校机械类和近机械类专业本科生、研究生进行毕业设计及大学生创新课题研究的参考资料,也可供在机械工程领域从事科学研究的高校教师、相关企业工程技术人员参考。

本书由华北水利水电大学王亚辉撰写,得到了河南省高等学校重点科研项目“基于多目标动态特征信息建模技术的生产过程智能优化方法研究”(项目号:17A460019)、“基于绿色环保航空薄壁件加工轨迹优化与变形控制”(项目号:17A460020)、河南省重点科技攻关项目“水上无损插桩设备关键技术研究”(项目号:152102210110)以及2015年度河南省高等学校教学团队项目“机械设计制造及其自动化专业机电类课程教学团队”等资助。

在书稿的撰写过程中,选取了一部分数控大赛的题目,进行建模、装配以及加工仿真,旨在重点介绍每个机构的建模及典型零件的加工方法,淡化机床的实际加工,这是本书的不足之处。在对零件仿真加工时,有很多参数需要设置,由于作者实践不足、加工经验有限,很多参数的设置虽经多方查阅,但可能仍然存在不合理的现象,希望同行们互相交流。感谢所有为本书书稿整理工作提供帮助的本科生和研究生!

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2016年7月

# 目 录

## 前言

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 第 1 章 凸轮机构的 3D 设计与 NC 加工 .....       | 1  |
| 1.1 基于 CAXA 平台凸轮机构各部分零件的 3D 设计 ..... | 1  |
| 1.1.1 CAXA 实体设计简介 .....              | 1  |
| 1.1.2 凸轮机构的实体建模 .....                | 2  |
| 1.2 凸轮机构的装配以及爆炸图的生成 .....            | 11 |
| 1.2.1 凸轮机构的装配 .....                  | 11 |
| 1.2.2 凸轮机构的爆炸图生成 .....               | 13 |
| 1.3 凸轮机构典型零件铣削加工 .....               | 14 |
| 1.3.1 CAXA 软件的 CAM 功能 .....          | 14 |
| 1.3.2 上盖下表面的铣削加工及代码生成 .....          | 14 |
| 1.4 凸轮机构典型零件(心轴)的车铣复合加工 .....        | 25 |
| 1.4.1 心轴车铣复合加工工艺 .....               | 25 |
| 1.4.2 心轴螺纹端外圆车削加工 .....              | 26 |
| 1.4.3 心轴圆球端车削加工 .....                | 32 |
| 1.4.4 心轴铣削部分加工 .....                 | 35 |
| 1.5 凸轮机构典型零件的仿真加工 .....              | 38 |
| 1.5.1 数控仿真概述 .....                   | 38 |
| 1.5.2 典型铣削零件上盖(下表面)的模拟数控仿真 .....     | 38 |
| 第 2 章 伞式结构的 3D 设计与 NC 加工 .....       | 45 |
| 2.1 基于 CAXA 平台伞式结构各部分零件的 3D 设计 ..... | 45 |
| 2.1.1 伞式结构的组成 .....                  | 45 |
| 2.1.2 伞式结构的实体建模 .....                | 45 |
| 2.2 伞式结构的装配以及爆炸图的生成 .....            | 68 |
| 2.2.1 伞式结构的装配 .....                  | 68 |
| 2.2.2 伞式结构的爆炸图生成 .....               | 71 |
| 2.3 伞式结构典型零件(侧板)铣削加工 .....           | 71 |
| 2.3.1 侧板下表面的数控加工工艺的设计铣削加工及代码生成 ..... | 71 |
| 2.3.2 侧板下表面的铣削加工 .....               | 72 |
| 2.4 伞式结构典型零件(螺纹滑块)的车削加工 .....        | 79 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 2.4.1 螺纹滑块车削总体方案 .....            | 79         |
| 2.4.2 螺纹滑块正面车削加工 .....            | 80         |
| 2.4.3 螺纹滑块底面车削加工 .....            | 82         |
| 2.4.4 后置处理及代码生成 .....             | 87         |
| 2.5 伞式结构典型零件的仿真加工 .....           | 88         |
| 2.5.1 数控仿真概述 .....                | 88         |
| 2.5.2 零件的模拟加工 .....               | 89         |
| <b>第3章 摇杆机构的3D设计与NC加工</b> .....   | <b>92</b>  |
| 3.1 基于CAXA平台摇杆机构各部分零件的3D设计 .....  | 92         |
| 3.1.1 摇杆机构的组成 .....               | 93         |
| 3.1.2 摇杆机构的实体建模 .....             | 93         |
| 3.2 摇杆机构的装配及爆炸图的生成 .....          | 127        |
| 3.2.1 摇杆机构的装配 .....               | 127        |
| 3.2.2 摇杆机构的爆炸图生成 .....            | 130        |
| 3.3 摇杆机构典型零件(底板)的铣削加工 .....       | 131        |
| 3.3.1 数控加工工艺的设计 .....             | 131        |
| 3.3.2 底板下表面数控加工 .....             | 132        |
| 3.3.3 底板上表面数控加工 .....             | 137        |
| 3.3.4 后置处理及代码生成 .....             | 141        |
| 3.4 摇杆机构典型零件(手柄)的车削加工 .....       | 142        |
| 3.4.1 车削加工工艺的设计 .....             | 142        |
| 3.4.2 手柄螺纹端车削加工 .....             | 143        |
| 3.4.3 手柄圆弧端车削加工 .....             | 149        |
| 3.4.4 车削加工G代码生成 .....             | 151        |
| 3.5 摇杆机构典型零件的仿真加工 .....           | 153        |
| 3.5.1 底板的数控仿真加工 .....             | 153        |
| 3.5.2 手柄的数控仿真加工 .....             | 156        |
| <b>第4章 凸轮槽机构的3D设计与NC加工</b> .....  | <b>160</b> |
| 4.1 基于CAXA平台凸轮槽机构各部分零件的3D设计 ..... | 160        |
| 4.1.1 凸轮槽机构的实体建模的概述及其组成 .....     | 160        |
| 4.1.2 凸轮槽机构的实体建模 .....            | 160        |
| 4.2 凸轮槽机构的装配及演示动画 .....           | 177        |
| 4.2.1 凸轮槽机构的装配 .....              | 177        |
| 4.2.2 凸轮槽机构爆炸图与爆炸动画的生成 .....      | 177        |
| 4.3 凸轮槽典型零件(下基座)的铣削加工 .....       | 179        |

|              |                            |            |
|--------------|----------------------------|------------|
| 4.3.1        | 下基座毛坯的建立与整体工艺分析            | 179        |
| 4.3.2        | 下基座反面的铣削加工                 | 180        |
| 4.3.3        | 下基座反面的铣削加工                 | 190        |
| 4.3.4        | 后置处理及 G 代码的生成              | 204        |
| 4.4          | 凸轮槽典型零件(芯轴)的车削加工           | 206        |
| 4.4.1        | 芯轴的工艺分析与毛坯的建立              | 206        |
| 4.4.2        | 芯轴的第一次装夹车削加工               | 209        |
| 4.4.3        | 芯轴的第二次装夹车削加工               | 215        |
| 4.5          | 凸轮槽机构典型零件的仿真加工             | 219        |
| 4.5.1        | 凸轮槽(下基座)的铣削仿真              | 219        |
| 4.5.2        | 凸轮槽(芯轴)的车削仿真               | 224        |
| <b>第 5 章</b> | <b>活塞机构的 3D 设计与 NC 加工</b>  | <b>228</b> |
| 5.1          | 基于 CAXA 平台活塞机构各部分零件的 3D 设计 | 228        |
| 5.1.1        | 活塞机构的实体建模概述及活塞机构的组成        | 228        |
| 5.1.2        | 活塞机构的实体建模                  | 228        |
| 5.2          | 活塞机构的装配及爆炸图的生成             | 242        |
| 5.2.1        | 活塞机构的装配                    | 242        |
| 5.2.2        | 活塞机构的爆炸图生成                 | 244        |
| 5.3          | 活塞机构典型零件(底板)的铣削加工          | 245        |
| 5.3.1        | 数控加工工艺的设计                  | 245        |
| 5.3.2        | 底板下表面数控加工                  | 245        |
| 5.3.3        | 后置处理及代码生成                  | 249        |
| 5.4          | 活塞机构典型零件的车铣复合加工            | 250        |
| 5.4.1        | 曲轴车铣复合加工工艺的设计              | 250        |
| 5.4.2        | 曲轴 1 螺纹端外圆车削加工             | 252        |
| 5.4.3        | 曲轴 1 铣削部分加工                | 259        |
| 5.5          | 活塞机构典型零件的仿真加工              | 263        |
| <b>第 6 章</b> | <b>风车的 3D 设计与 NC 加工</b>    | <b>267</b> |
| 6.1          | 基于 CAXA 平台风车各部分零件的 3D 设计   | 267        |
| 6.1.1        | 风车实体建模概述                   | 267        |
| 6.1.2        | 风车各部分零件的实体建模               | 267        |
| 6.2          | 风车的装配及爆炸图的生成               | 288        |
| 6.2.1        | 风车的装配                      | 288        |
| 6.2.2        | 风车爆炸图的生成                   | 289        |
| 6.3          | 风车典型零件(底座)铣削加工             | 290        |

---

|            |                         |     |
|------------|-------------------------|-----|
| 6.3.1      | 数控加工工艺的设计 .....         | 290 |
| 6.3.2      | 底座的铣削加工和刀具路径的生成 .....   | 291 |
| 6.3.3      | 加工代码生成 .....            | 299 |
| 6.4        | 风车典型零件(转轴)的车铣复合加工 ..... | 301 |
| 6.4.1      | 转轴数控加工工艺设计 .....        | 301 |
| 6.4.2      | 转轴的车削加工和自动编程 .....      | 302 |
| 6.4.3      | 转轴车削代码生成 .....          | 312 |
| 6.4.4      | 转轴铣削部分加工和自动编程 .....     | 313 |
| 6.4.5      | 转轴铣削部分代码生成 .....        | 318 |
| 6.5        | 风车典型零件的仿真加工 .....       | 318 |
| 6.5.1      | 风车底座的模拟仿真加工 .....       | 318 |
| 6.5.2      | 风车转轴的模拟仿真加工 .....       | 323 |
| 参考文献 ..... |                         | 327 |

# 第 1 章 凸轮机构的 3D 设计与 NC 加工

## 1.1 基于 CAXA 平台凸轮机构各部分零件的 3D 设计

在各种机械中,特别是自动机床和自动控制装置中,广泛采用着各种形式的凸轮机构。图 1-1 和图 1-2 分别是内燃机内的配气机构和自动机床的进刀机构。

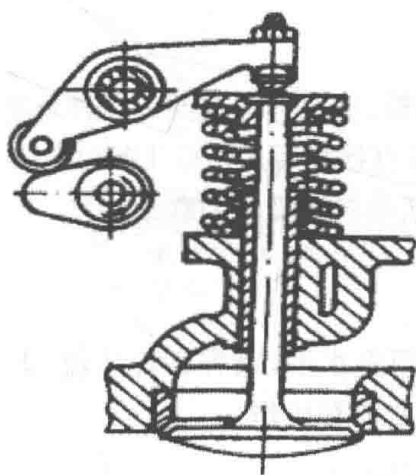


图 1-1 内燃机凸轮机构

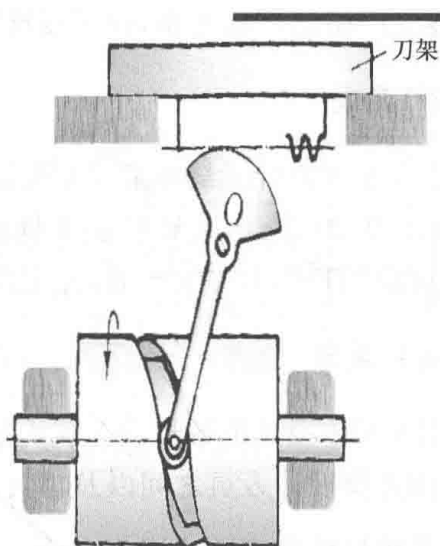


图 1-2 自动机床的进刀机构

凸轮机构的最大优点是只要设计出合适的轮廓曲线,就可以使推杆做各种预期的运动,而且响应快速,机构简单紧凑。目前凸轮机构还无法被数控电控等装置完全代替。

凸轮机构是机械装备中应用非常广泛的机构。传统的凸轮机构加工方法常常由于人为因素的影响导致凸轮机构各个零部件精度不够精确,而数控加工具有加工精度高、质量稳定的优点,这使得凸轮机构加工生产效率提高、精度及表面粗糙度一致,从而实现了凸轮机构加工自动化。因此,本章对凸轮机构的数控加工技术进行研究。

### 1.1.1 CAXA 实体设计简介

CAXA 实体设计是一款集创新设计、工程设计和协同设计于一体的新一代三维系统。易学易用、快速设计和兼容协同是它最明显的特点。

## 1. 创新模式

创新模式将可视化的自由设计与精确化设计结合在一起,使产品设计跨越了传统参数化造型 CAD 软件的复杂性限制,无论是经验丰富的专业人员,还是刚进入设计领域的初学者,都能轻松开展产品创新工作。

## 2. 工程模式

CAXA 实体设计除提供创新模式外,还具备传统 3D 软件普遍采用的全参数化设计模式(即工程模式),符合大多数 3D 软件的操作习惯和设计思想,可以在数据之间建立严格的逻辑关系,便于设计修改。

## 3. 2D 集成

CAXA 实体设计无缝集成了 CAXA 电子图板,工程师可在同一软件环境下自由进行 3D 和 2D 设计,无须转换文件格式,可以直接读写 DWG/DXF/EXB 等数据,把三维模型转换为二维图纸,并实现二维图纸和三维模型的联动。

## 4. 数据兼容

CAXA 实体设计的数据交互能力处于业内领先水平,兼容各种主流 3D 文件格式,从而方便设计人员之间以及与其他公司的交流和协作。

### 1.1.2 凸轮机构的实体建模

#### 1. 凸轮机构的组成

本章研究的是凸轮机构的数控加工技术。此凸轮机构是由心轴、基座、凸轮、上盖、螺母、活塞六个零件组成的。图 1-3 是凸轮机构装配二维图。可以利用 CAXA 实体设计的 CAD 功能完成对这六个零件的建模、装配。在建模过程中,对零件进行了实体拉伸(增料、除料)、旋转(增料、除料)、实体倒圆角、实体倒角等特征操作。图 1-4 是凸轮机构装配三维图。

#### 2. 心轴的实体建模

下列实体建模部分仅对心轴部分进行详细的步骤操作及过程说明,对于后边的零件部分如基座、凸轮、上盖、螺母、活塞进行详细的步骤说明,但不再进行每一步的过程截图,只给出关键过程的操作截图及结果截图。在建模过程中不进行具体尺寸的说明,具体的尺寸将在零件工程图和加工操作过程中显示。

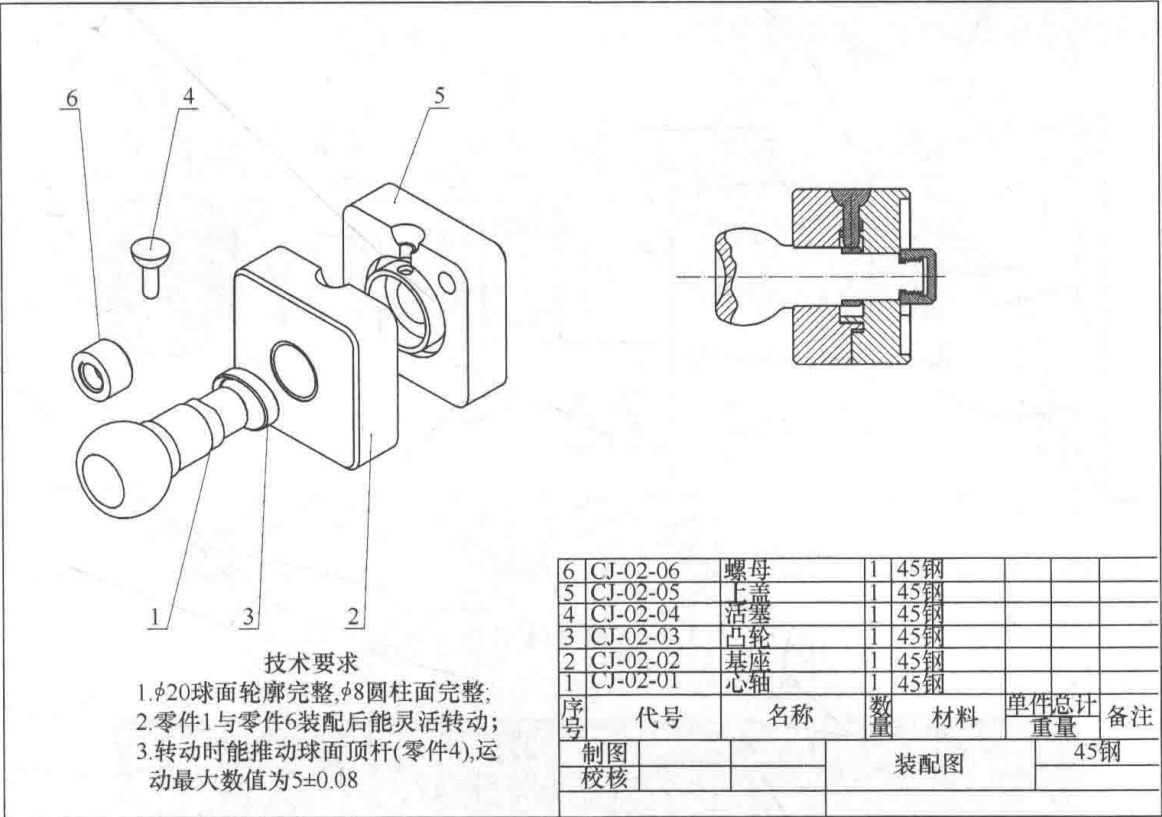


图 1-3 凸轮机构装配二维图

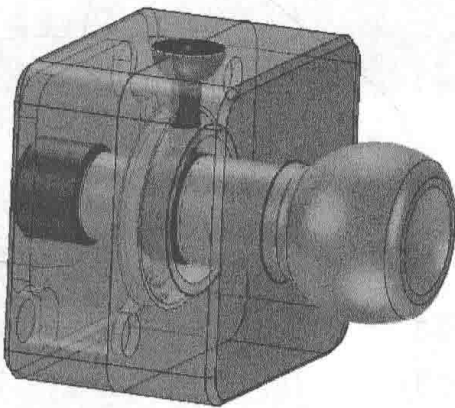


图 1-4 凸轮机构装配三维图

图 1-5 是心轴的零件图。下面对心轴进行建模。

(1) 画出心轴的截面草图,如图 1-6 所示。

(2) 对草图截面进行旋转特征操作,如图 1-7 所示。通过对草图截面进行旋转特征操作,生成三维实体的外圆部分。

(3) 对图 1-8(a)进行拉伸特征操作,生成心轴需要铣削部分;再对图 1-8(b)的

铣削部分进行倒圆角操作,生成结果如图 1-9 所示;最后对螺纹端进行生成螺纹操作,最终心轴的建模结果如图 1-10 所示。

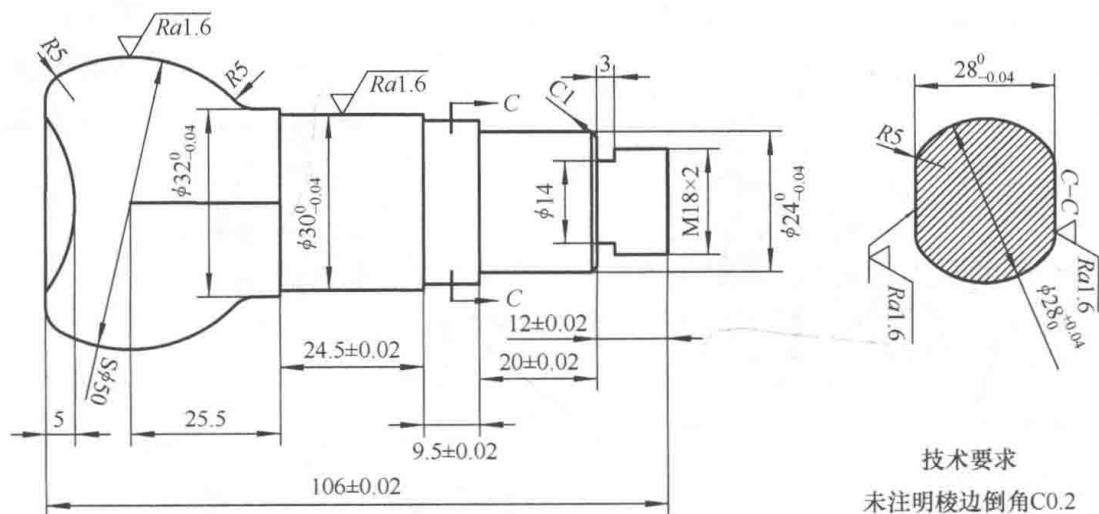


图 1-5 心轴的零件图

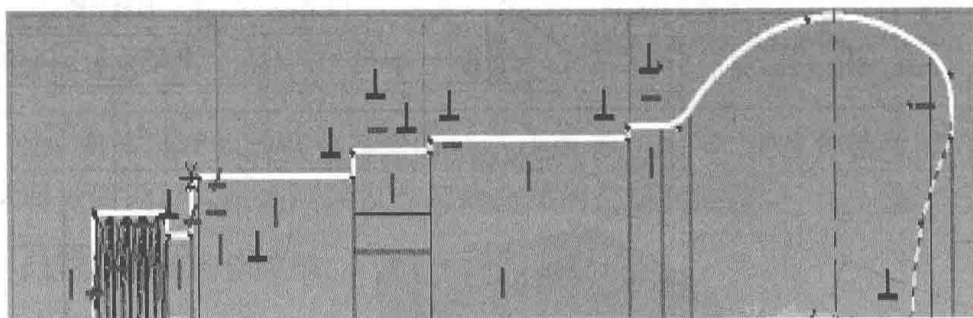


图 1-6 心轴截面草图

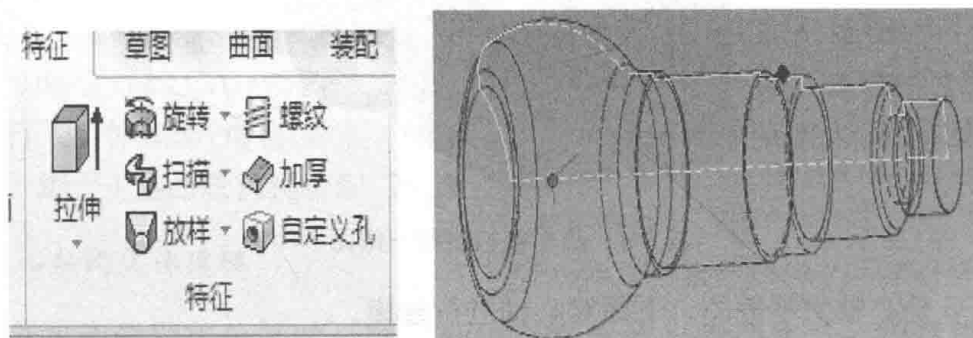


图 1-7 心轴外圆轮廓生成

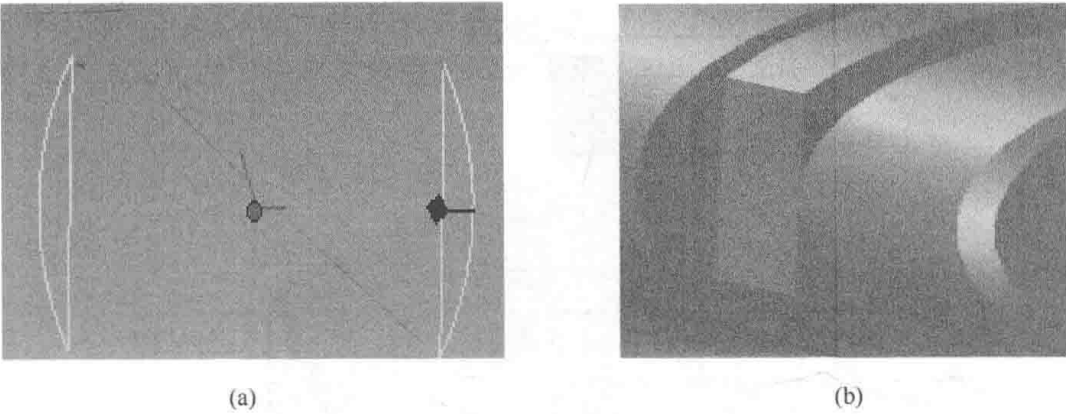


图 1-8 心轴铣削部分生成

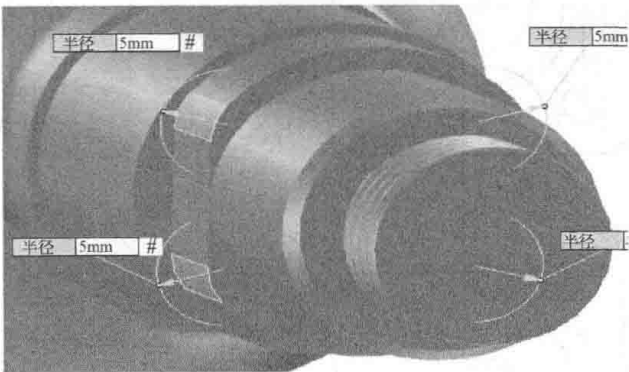


图 1-9 心轴铣削部分倒圆角

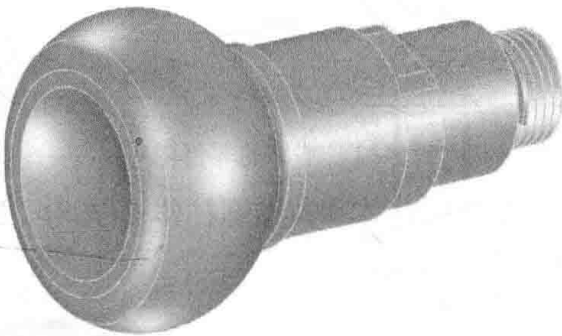


图 1-10 心轴

### 3. 基座的实体建模

图 1-11 是基座的零件图,图中给出了基座的具体尺寸和技术要求。下面对基座进行实体建模。

(1) 通过设计元素库拖入长方体,并进行包围盒的编辑操作,确定基座的基本尺寸。对长方体四周进行倒圆角操作,并对底面指定边进行倒角操作,结果如图 1-12所示。

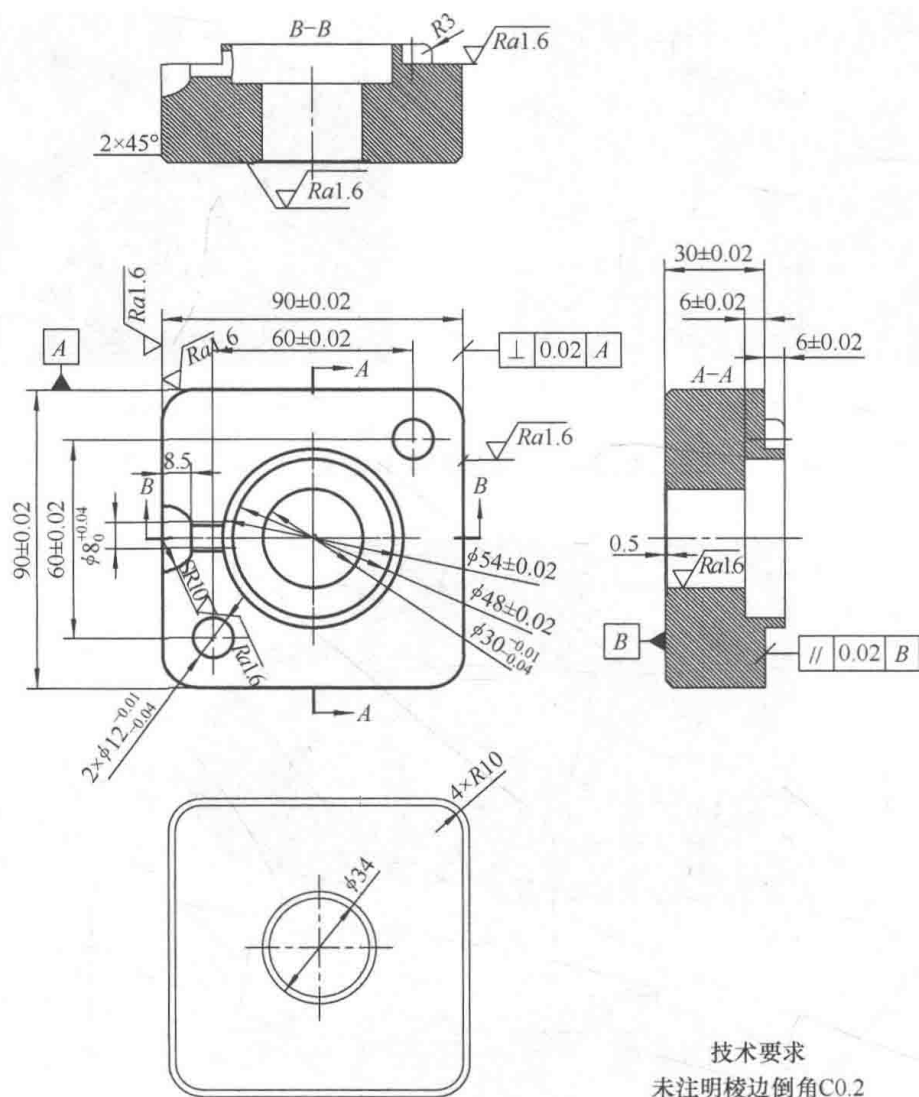


图 1-11 基座的零件图

(2) 利用设计元素库中的圆柱体和孔类圆柱体按照尺寸要求在长方体的基础上进行操作,结果如图 1-13 所示。

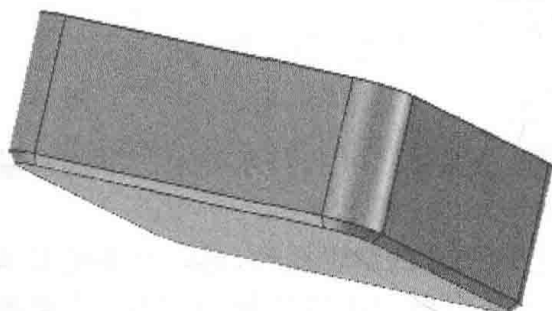


图 1-12 基座外圆及下表面

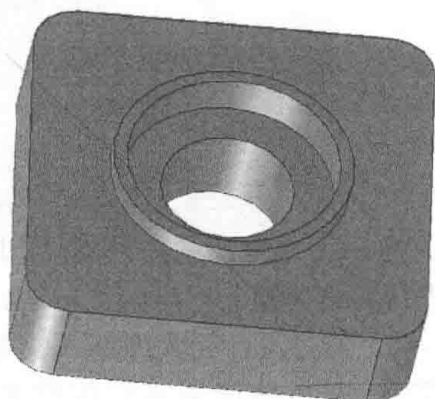


图 1-13 基座上表面

(3) 接着在长方体上截面上生成小圆柱凸台,并对其进行倒圆角操作。在长方体上通过旋转操作生成上截面的凹槽。结果如图 1-14 所示。

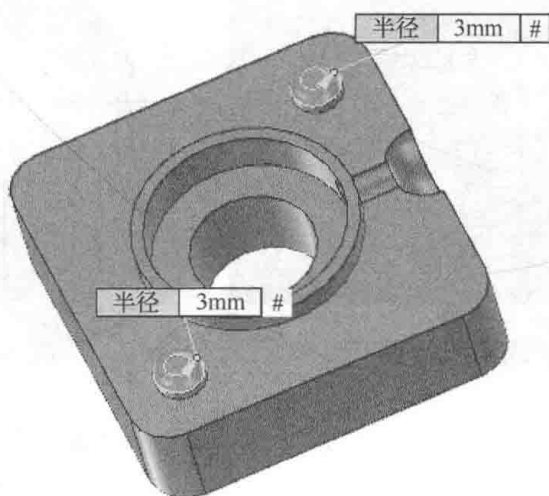


图 1-14 基座上表面

#### 4. 凸轮的实体建模

凸轮的零件图如图 1-15 所示。下面对其进行实体建模。

(1) 按照尺寸画出凸轮截面的草图部分,通过草图的椭圆命令、圆命令、直线命令、裁剪命令、倒角命令即可做出图 1-16。

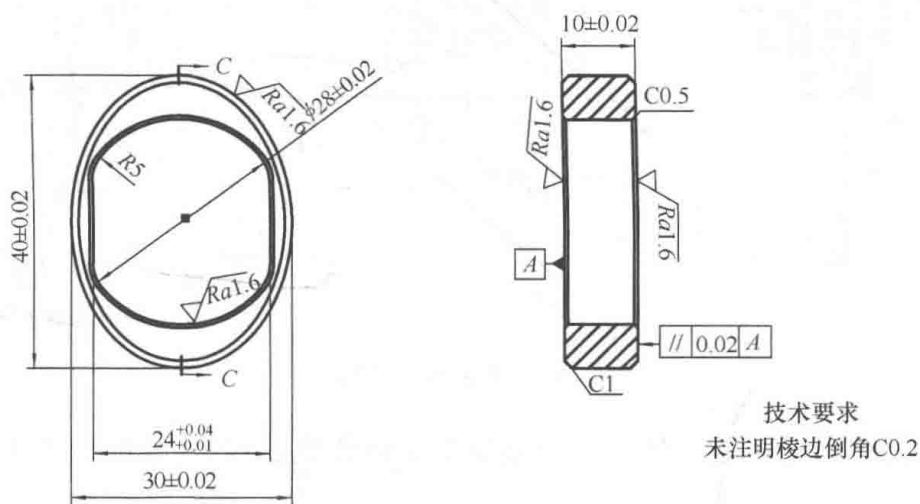


图 1-15 凸轮的零件图

(2) 对图 1-16 所示草图截面进行拉伸增料操作,并对内圆和外圆进行倒角操作,得到的结果如图 1-17 所示。

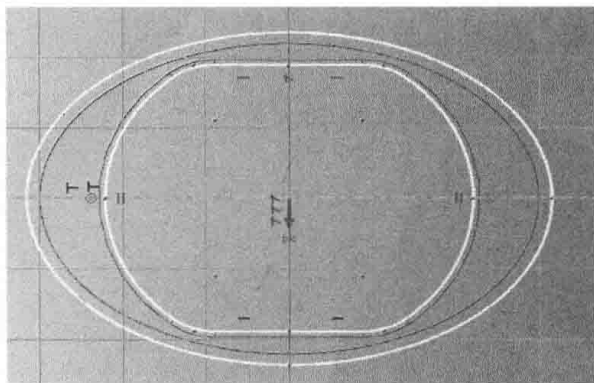


图 1-16 凸轮截面草图

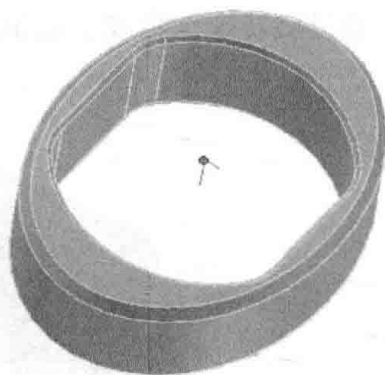


图 1-17 凸轮

### 5. 上盖的实体建模

图 1-18 为凸轮机构上盖的零件图。下面对其进行实体建模。

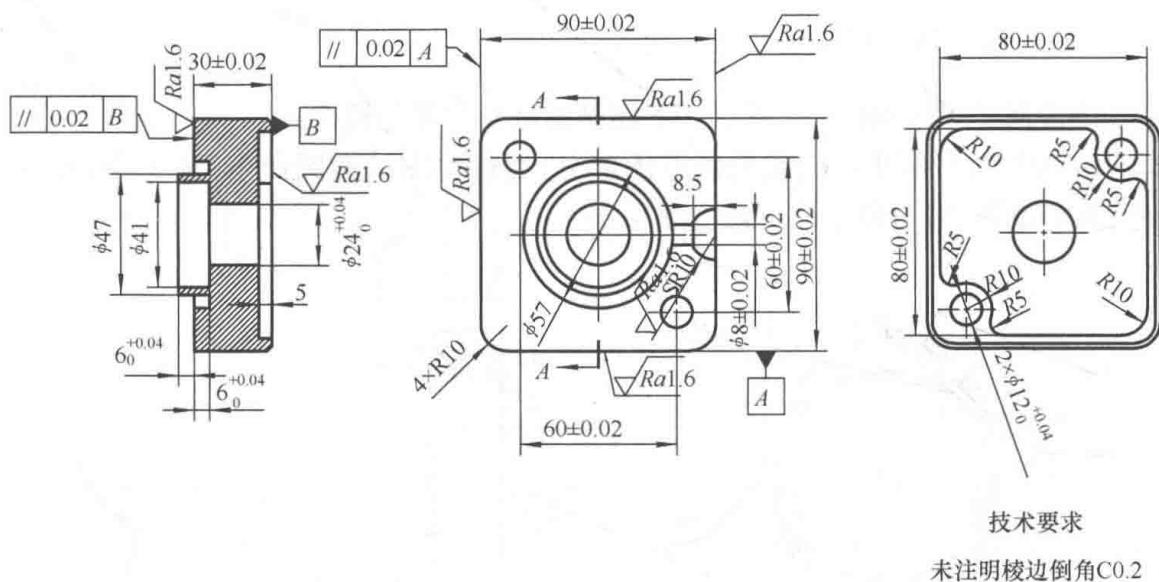


图 1-18 上盖的零件图

(1) 上盖的上表面建模操作参照基座的实体建模过程,生成的上盖上表面如图 1-19 所示。

(2) 在上盖的下表面画出要求的截面草图,进行拉伸除料操作,并利用设计元素库中的孔类圆柱体命令,按照尺寸编辑包围盒,并对要求的边进行倒角操作,如图 1-20 所示。