

全国CAD技能等级考试丛书

中国工程图学学会规划教材



工业产品类CAD技能二、三级
(三维几何建模与处理)

Autodesk Inventor 培训教程

窦忠强 杨光辉 主编

清华大学出版社

全国CAD技能等级考试丛书

中国工程图学学会规划教材

工业产品类CAD技能二、三级
(三维几何建模与处理)

Autodesk Inventor 培训教程

窦忠强 杨光辉 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本教材是根据中国工程图学学会所拟订的《CAD 技能等级考评大纲》编写的,适合作为工业产品类 CAD 技能二、三级(几何建模与处理)的培训教材。

本教材以 Inventor (Autodesk Inventor Professional 2010)软件的应用为基础,包含三维设计的基本概念和 Inventor 软件简介、零件建模、部件装配、设计表达、工程图、渲染及动画等内容。本书配有随书光盘,包含本教材所涉及的设计例题和部分练习题中所需要的素材。

本教材还可以作为高等学校机械类学生或企业从事机械设计的工程技术人员的参考用书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工业产品类 CAD 技能二、三级(三维几何建模与处理)Autodesk Inventor 培训教程/窦忠强,杨光辉主编.--北京:清华大学出版社,2012.5

(全国 CAD 技能等级考试丛书)

ISBN 978-7-302-28279-2

I. ①工… II. ①窦… ②杨… III. ①工业产品—计算机辅助设计—应用软件, Autodesk Inventor—水平考试—教材 IV. ①TB472-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 040645 号

责任编辑:庄红权

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:张雪娇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 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:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19.5 字 数:489 千字

(附光盘 1 张)

版 次:2012 年 5 月第 1 版

印 次:2012 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:42.00 元

产品编号:033478-01



指导委员会

顾问：唐荣锡 Kenjiro Suzuki(日本)

主任：孙家广

副主任：Gunter Weiss(德国)

委员(中国人以姓氏拼音为序)：

Emiko Tsutsumi(日本)

Eduardo Toledo Santos(巴西)

Hellmuth Stachel(奥地利)

Sheryl Sorby(美国)

Ted J. Branoff(美国)

何援军 何玉林 贾焕明 李 华

马殿富 强 毅 孙林夫 童秉枢

谭建荣 王 静 王建华 王田苗

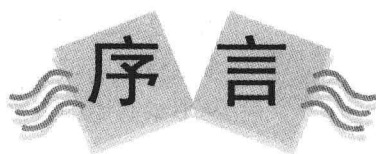
魏小鹏 杨海成 左宗义

编辑委员会

主 任：童秉枢

委 员：王建华 邓学雄 刘朝儒 李雪梅

许纪倩 郑国磊 贾焕明 韩宝玲



PREFACE

计算机辅助设计(CAD)技术推动了产品设计和工程设计的革命,受到了极大重视并正在被广泛地推广应用。计算机绘图与三维建模作为一种新的工作技能,有着强烈的社会需求,正成为我国就业中的新亮点。在此背景下,中国工程图学学会联合国际几何与图学学会,本着更好地为社会服务的宗旨,在全国范围内开展“CAD 技能等级”培训与考评工作。为了对该技能培训提供科学、规范的依据,组织了国内外有关专家,制定了《CAD 技能等级考评大纲》(以下简称《大纲》)。

《大纲》以现阶段 CAD 技能从业人员所需水平和要求为目标,在充分考虑经济发展、科技进步和产业结构变化的基础上,将 CAD 技能分为三级:一级为二维计算机绘图,二级为三维几何建模,三级为复杂三维模型的制作与处理。根据工作领域的不同,每一级分为两种类型,即“工业产品类”和“土木与建筑类”。CAD 技能一级相当于计算机绘图师的水平;二级相当于三维数字建模师的水平;三级相当于高级三维数字建模师的水平。

为了配合 CAD 技能等级培训与考评工作的进行,中国工程图学学会于 2009 年年初决定编写配套的培训教程,并成立了“全国 CAD 技能等级考试丛书”编辑委员会,着手规划和落实丛书的编写。这套丛书共计 9 本。CAD 技能一级(二维计算机绘图)的培训教程有 3 本,它们是工业产品类的 CAXA 和 AutoCAD 培训教程各 1 本,以及土木建筑类的 AutoCAD 培训教程 1 本。CAD 技能二、三级(三维几何建模与处理)的培训教程有 6 本,它们是工业产品类的 Inventor、SolidWorks、Pro/Engineer、UG NX、Solid Edge 培训教程各 1 本,以及土木与建筑类二、三级的 AutoCAD 培训教程 1 本。

本套丛书有以下特点:①丛书内容的安排与培训和考评紧密结合,这是由于丛书内容的取舍与顺序完全由《大纲》规定的基本知识、考评内容和技能要求所决定;②丛书突出了应用性和实用性,通过丰富的实例强化了技能培训,因此可作为应用型高等学校和高等专科学校相关专业的教材,也可作为广大科技工作者的工具书;③将用到的技术制图知识融合到丛书的相关章节中,做到不扩大,够用为止。

丛书各分册的主编长期从事图学或 CAD 技术教育,有较深的学术造诣,有丰富的教学和培训经验,均能熟练掌握 CAD 软件的操作与应用。他们大都出版过相关教材,有丰富的编写经验。

本套丛书由清华大学出版社出版。从丛书策划开始,清华大学出版社就一直关注并提出了很多宝贵建议,感谢他们为丛书出版付出的辛勤劳动和支持。

丛书编写中的不当之处,欢迎广大读者批评指正。

童秉枢

中国工程图学学会

“全国 CAD 技能等级考试丛书”编辑委员会主任

清华大学教授

2010 年 4 月



FOREWORD

Inventor (Autodesk Inventor Professional)是美国 Autodesk 公司 1999 年推出的一款面向工业产品设计师的三维产品设计软件。它融合了当前 CAD 所采用的最新技术,具有强大的造型能力;其独特的自适应技术使得以装配为中心的“自上向下”的设计思想成为可能;该软件与 AutoCAD 有极好的兼容性以及具有直观的用户界面、直观菜单、智能纠错等优秀功能。

本教程以 Inventor 2010 为平台,叙述了从三维开始的工业产品设计思想和设计方法。全书共分 8 章,第 1 章介绍设计三维实体模型的基础知识和 Inventor 软件的基本功能;第 2 章通过一个简单零件的具体设计步骤,初步认识三维参数化设计过程;第 3 章叙述了草图设计的具体方法;第 4 章详细叙述了建立三维零件模型的各种特征方法;第 5 章讲述三维实体装配设计的基本方法和标准零部件的使用;第 6 章给出部件分解表达方法;第 7 章详尽介绍二维工程图的生成;第 8 章介绍了零部件的渲染技术以及动画方法。

本教程注重对设计过程的理解和具体的操作方法,每章开始以图说的形式表达当前内容和其他设计环节的关联。各功能的操作过程具体、翔实,适时配有结合工程实际的应用实例,帮助读者学会综合应用基本功能解决工程建模问题。每章后附有思考题和练习题,其中第 4 章(三维零件的设计方法)练习题后还附有启发读者构形设计的题目。

教程只是学习软件的入门指导,读者在学习的时候,不应完全依赖教程。首先要理解教程内容,上机实践各章节涉及的各种命令,更要做较多的练习题或结合工作实践中的项目“真刀真枪”的设计,在练习中总结好的、灵活的方法和技巧,才能掌握和驾驭这个设计工具。学习 CAD 软件,用它来设计产品的三维模型是一个艰苦、细致而又有趣的过程,相信读者在实践中会有收获。

本教材是根据中国工程图学学会拟订的《CAD 技能等级考评大纲》编写的,适合工业产品类 CAD 技能二、三级(三维几何建模与处理)的培训和自学。

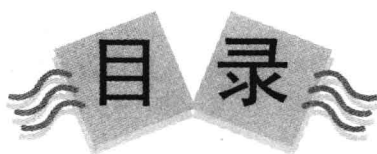
本书由北京科技大学窦忠强和杨光辉主编,具体分工为:窦忠强编写了第 1~4 章,杨光辉编写了第 5~7 章,同济大学肖尧编写了第 8 章。

本教程随书附带一张光盘,光盘的内容是本教程所涉及的全部操作练习实例和练习题素材。

中国工程图学学会“全国 CAD 技能等级考试丛书”编辑委员会对本书的编写工作给予了大力指导,华南理工大学的邓学雄教授审读了全书,并提出了具体、中肯的宝贵意见,在此表示感谢。

编 者

2012 年 2 月



CONTENTS

第 1 章 数字化三维设计和 Inventor 软件简介	1
1.1 数字化三维设计的基础知识	1
1.1.1 参数化设计	1
1.1.2 特征设计	4
1.1.3 工业产品三维实体设计的基本方法	6
1.2 Inventor 简介	7
1.2.1 Inventor 的技术特点	7
1.2.2 Inventor 的主要功能	8
1.2.3 Inventor 设计环境	10
第 2 章 简单零件的三维设计过程实例	15
2.1 零件的三维设计流程	15
2.2 简单零件的三维设计要求和形体构成分析	15
2.3 板形零件的设计过程与步骤	16
2.3.1 设计过程	16
2.3.2 设计步骤	16
思考题	26
练习题	26
第 3 章 三维零件的草图设计	27
3.1 草图设计的基本知识	27
3.2 绘制草图命令	29
3.3 修改编辑草图	36
3.4 草图约束	42
3.4.1 约束	42
3.4.2 添加几何约束	43
3.4.3 查看、删除几何约束	46
3.4.4 添加尺寸约束	47

3.4.5 编辑尺寸约束	49
3.5 草图设计实例	53
思考题	54
练习题	55
第4章 三维零件的设计方法	58
4.1 零件的三维设计	58
4.1.1 零件的三维设计过程	58
4.1.2 零件特征设计方法	58
4.2 草图特征	61
4.3 放置特征	78
4.4 定位特征	92
4.5 零件模型设计分析	99
4.6 零件的三维设计综合举例	99
思考题	112
练习题	113
第5章 实体装配设计	141
5.1 实体装配的基础知识	141
5.2 装配设计中的约束	142
5.2.1 零件的自由度	142
5.2.2 添加装配约束	143
5.2.3 剩余自由度显示	150
5.2.4 驱动约束	151
5.3 编辑零部件	158
5.4 自下向上的装配设计	161
5.5 自上向下的装配设计	166
5.6 自适应设计	173
5.7 表达零部件	178
5.8 资源中心	180
5.9 设计加速器	182
5.10 装配综合举例	193
思考题	201
练习题	201
第6章 部件分解表达	205
6.1 设计分解表达的目的	205
6.2 创建表达视图	206
6.3 编辑表达视图	211
6.4 动画模拟	212

6.5 部件分解表达综合举例	216
思考题	218
练习题	218
第7章 工程图	220
7.1 工程图的设计过程	220
7.2 设置工程图	221
7.3 创建工程视图	223
7.3.1 基础视图	223
7.3.2 投影视图	224
7.3.3 斜视图	226
7.3.4 局部视图	227
7.3.5 全剖视图	228
7.3.6 半剖视图	232
7.3.7 局部剖视图	234
7.3.8 阶梯剖视图	235
7.3.9 旋转剖视图	236
7.3.10 断面图	237
7.3.11 局部放大图	239
7.3.12 打断视图	240
7.4 工程图的标注	242
7.4.1 标注尺寸	243
7.4.2 表面粗糙度代号	251
7.4.3 工程图的技术要求	251
7.4.4 工程图的标题栏	252
7.5 部件装配工程图	253
7.6 工程图综合举例	259
思考题	270
练习题	270
第8章 渲染与动画	280
8.1 渲染图像与渲染动画	280
8.1.1 Inventor Studio 概述	280
8.1.2 场景、灯光、材质与照相机设置	280
8.1.3 渲染图像	286
8.1.4 渲染动画	287
8.2 渲染与动画应用举例	290
8.2.1 机械手渲染图像制作	290
8.2.2 机械手渲染动画制作	293
思考题	295
练习题	295

第 1 章 数字化三维设计和 Inventor 软件简介

本章学习目标

学习三维实体模型的基础知识。

本章学习内容

- (1) 参数化和参数化设计的基本概念；
- (2) 特征和特征设计的基本概念；
- (3) 工业产品的三维实体的设计基本方法；
- (4) 参数化特征造型软件 Inventor 的基本功能。

三维 CAD(计算机辅助设计)具有二维 CAD 所无法比拟的功能,特别是在复杂实体、曲面造型、三维有限元建模、复杂装配、干涉检查、动态仿真、CAM(计算机辅助制造)、反求设计及快速原型设计等方面。三维 CAD 的应用,不仅为产品的数控加工提供了几何模型,而且为应用 CAE(计算机辅助分析)技术提供了可能,还可在计算机上进行装配干涉检查、机构运动分析、有限元分析等。三维 CAD 为设计技术的不断深化发展开拓了更为广阔的空间。

1.1 数字化三维设计的基础知识

1.1.1 参数化设计

在产品开发设计初期,零件形状和尺寸有一定模糊性和不确定性,要在装配验证、性能分析后才能最终确定,这就要求零件的形状具有易于修改的特性。

大多数二维 CAD 系统绘制的图形是一幅“死图”,这样的图形中各图素之间没有任何约束关系;即不能通过改变尺寸来改变图形。如图 1-1 中,尺寸是一个常数,图形和尺寸是分离的,没有关联关系,如要把图形的总高 60 改为 50,则要改变线段 A 的位置,使线段 A 向下移动 10,重新再标注尺寸 50,这样的图形称为非参数化的图形,非参数化的图形不能通过尺寸去“驱动”改变。这样的设计方法效率很低。

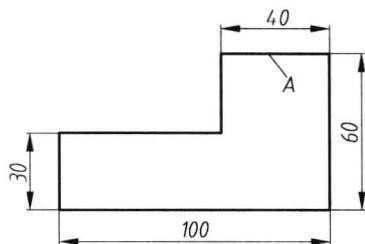


图 1-1 非参数化的图形

所谓参数化,是指为图形添加约束关系,约束包括“尺寸约束”和“几何约束”两种类型。被约束了的图形称为参数化图形。

1. 尺寸约束

尺寸约束由标注一组可以改变的参数尺寸来确定图形的形状,如距离尺寸、角度尺寸、直径尺寸以及尺寸之间的约束关系。

CAD 系统给每个尺寸自动赋予一个变量名字(也可以由用户自己命名),使之成为任意调整的参数。对于变量化的参数赋予不同数值,就可得到不同大小和形状的零件模型。

在图 1-2 中,尺寸就是一组参数化了的尺寸,尺寸不再是一个定数,而是一个变量。

参数尺寸和图形是关联的,直接修改尺寸则图形自动改变。如图 1-2(a)中,图形的尺寸被一组变量参数确定,当将尺寸参数 H 修改为 50,图形自动改变了,并保持了原图形中的几何约束(平行、垂直)关系,如图 1-2(b)所示。

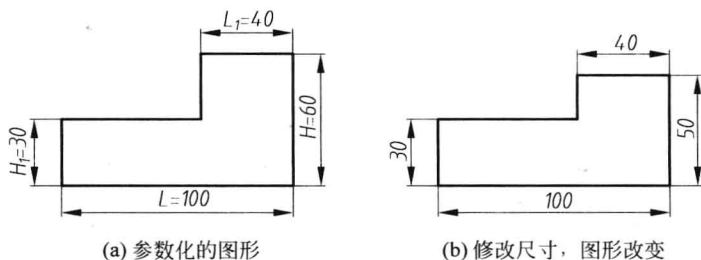


图 1-2 尺寸驱动图形

可以认为图形的变化是被参数化的尺寸“驱动”的结果。

在参数化模型中建立各种约束关系,体现了设计人员的设计意图。

2. 几何约束

几何约束是指图形的几何元素之间的拓扑约束关系,如平行、垂直、相切、同心等,如图 1-3 所示。



图 1-3 几何约束

在设计过程中有些约束关系不方便用尺寸来定义,例如,不能用标注两个圆的圆心距离为零来定义同心关系。这些约束关系可以由 CAD 系统自动定义或人工操作定义。

几何约束一般是隐含在图形中的,模型的尺寸约束变化时,图形的几何约束关系不变。

3. 设计简介

用约束来控制 and 定义几何模型,方便地修改实体的形状或进行形状相似的系列产品设计,这样的设计叫做参数化设计。

不同的 CAD 系统,参数的类型和名称不尽相同,大致可以分为以下几种形式。

1) 直接参数

给尺寸变量赋一个显式的数值,该数值直接驱动图形的变化,如图 1-2 所示。

图 1-4 是直接参数在多面投影图中的应用,各投影视图之间的图形也保持着关联关系。在将主视图的尺寸 L_1 由 40 改为 20 后,主视图和俯视图的相关投影都随之改变。

2) 表达式参数

这类参数常应用在工程设计中。在工程设计中,一个零件的各部分结构尺寸之间常常具

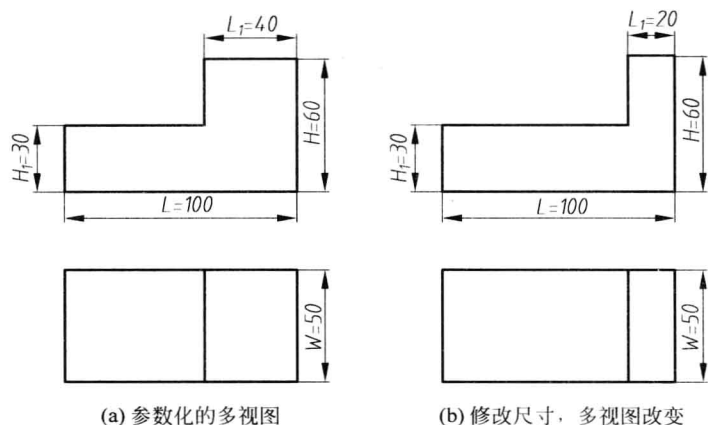


图 1-4 多视图参数化

有一定的比例和计算关系。如轴和轴肩、轴的直径和轴端倒角、轴的直径和轴段圆角的尺寸关系就属于这种情况。

图 1-5 是一个底板零件的视图,按设计要求,如果各部分尺寸之间的关系如图 1-5(a)所示,则尺寸变量 L_1 、 L_2 和 H_1 则可以用表达式来表示,如图 1-5(b)所示。

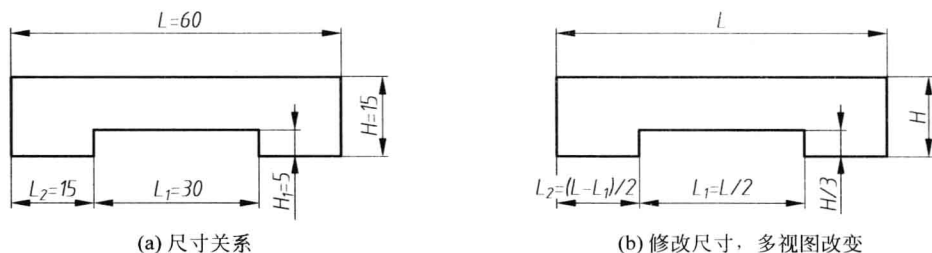


图 1-5 表达式参数

又如在图 1-6 中,若改变尺寸 L 为 34,则圆孔的位置立即改变,以保证圆孔中心始终在居中的位置上。

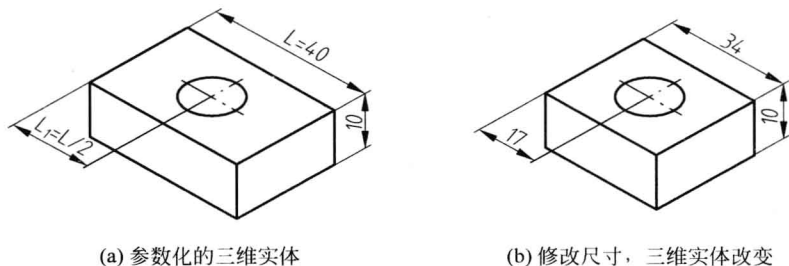


图 1-6 三维图形参数化

3) 自适应参数

在具有“自适应”功能的 CAD 系统中,自适应参数是一种更智能化的参数类型,常用于控制零件与零件之间的约束关系。例如,在装配零件时,可以根据装配规则自动捕捉设计者的设计意图。参数的传递是隐式的,设计者感觉不到参数的传递过程。

图 1-7(a)是两个待装配的零件,轴套是设计的基础零件,按设计规则,相配合的轴直径应和轴套的孔径相等,轴端长度应和轴套的宽度相等。施加这种装配约束非常简单,当选取轴、孔表面后,轴的直径自动“适应”轴套的孔径,如图 1-7(b)所示;当选取轴端面和轴套端面后,轴的长度自动“适应”轴套的宽度,如图 1-7(c)所示。



图 1-7 自适应参数应用

利用参数化设计手段开发的专用产品设计系统,可使设计人员从大量繁重而琐碎的绘图工作中解脱出来,从而大大提高设计速度,并减少信息的存储量。因此,先进的三维 CAD 系统都采用了参数化的技术,支持参数化设计。

1.1.2 特征设计

利用 CAD 系统设计产品,不仅要构造出满足设计要求的结构、外形,还要考虑产品的制造过程。例如,制造过程要确定定位基准、公差、表面粗糙度、加工和装配精度等,因此就要充分考虑加工制造对设计的要求。因此,现代 CAD 系统引入了“特征”和特征设计的理论和方法。

在非特征的 CAD 中,实体是一种单一的几何描述,如直线、圆弧等。这样的实体模型不能被后续的 CAM 系统理解和接受。例如,对孔的设计,非特征的系统常采用圆柱体与某个实体进行逻辑运算来实现,计算机仅仅知道哪些部分没有材料而已,并不能“认识”那是一个孔。对基于特征的设计系统,孔是一个特征,具有直径、长度、位置、公差、表面粗糙度等属性,每一个特征基本上对应着一组加工制造方法。

1. 特征

在产品 CAD 领域,特征的定义被描述为:“特征是零件或部件上一组相关的具有特定形状和属性的几何实体,有着特定设计和制造的意义。”

特征是一个产品的信息集合,一般包括形状和功能两大属性。形状属性包括几何形状、拓扑关系、表示方法。而功能属性包括与加工过程有关的制造精度、材料和公差要求。

特征可以根据其性质分为几类。

- (1) 形状特征:零件的几何形状。
- (2) 技术特征:零件的性能参数、属性。
- (3) 装配特征:零件之间的方向、作用面、配合关系。

本章只简述与产品的构型设计相关的形状特征,其他特征的功能在后面的章节结合具体软件讲述。

通常将形状特征定义为具有一定拓扑关系的一组几何元素构成的形状实体。它对应零件上的一个或多个功能,能够被相应的加工方法加工成形。

例如,根据零件的轮廓特点及相应的总体加工特点,可以将零件分为回转、板块和箱体等几大类。每一大类还可以进一步划分。对板块类零件可以再定义为孔、槽、腔、平面等特征;而孔类特征可以细分为光孔、盲孔、台阶孔、螺纹孔、组合分布孔等。将一种形状定义为一类特征,每一类特征都在零件中实现各自的功能;其尺寸标注、定位方式都遵循一定的原则,并对应各自的加工方法、加工设备、刀具、量具和辅具。

图 1-8 表示的是常见的形状特征分类。

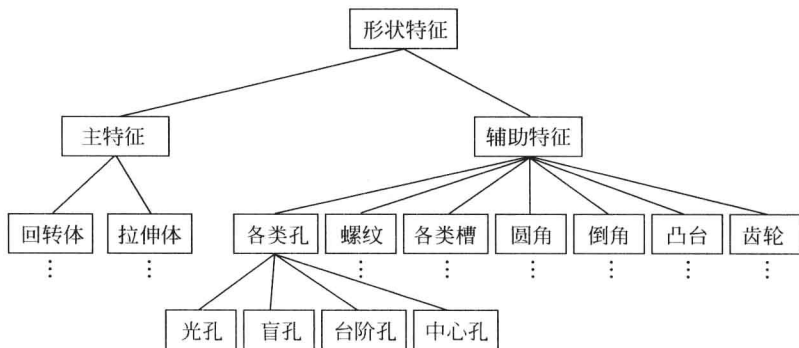


图 1-8 特征的分类

2. 特征设计简介

所谓特征设计就是根据零件的功能需求从建立其主特征开始,逐个添加其他辅助特征的过程。在建立特征的同时依靠其尺寸约束特征的位置和大小,用平行、垂直等几何形状约束条件确定特征的形状。

图 1-9 所示零件轴架是由若干特征组合而成的实体模型。

图 1-10 表示了建立轴架实体模型的特征设计过程。

产品的几何模型实际上是由一个和多个特征构成的,是特征的集合。

特征设计的过程也是由抽象到具体、由模糊到精确的变化过程,设计的每一步骤都可以修改或重新开始。控制变化过程的就是前面叙述的参数化技术。

设计过程中,设计师操作的对象不再是原始的点、线、面那样的单一几何要素,而是反映零件的几何形状信息和加工工艺信息、体现设计意图、代表产品功能的特征要素。

将参数化设计和特征设计方法相结合是三维设计系统的基础。基于特征的参数化三维实体设计不但可以使计算机完整地记录实体的几何信息,而且很容易计算实体的体积、质量、惯性矩等物理特性,使实体零件或部件的计算机辅助分析如有限元的网格划分、运动学和动力学的分析仿真得以顺利实现。更重要的是,它同时提供了实体的计算机辅助制造所需要的各类特征,实现根据特征自动选择加工方法、自动生成数控刀具轨迹和自动生成加工代码的现代加工制造过程。因此,基于特征的参数化设计更适合于 CAD/CAM/CAE 集成的需要。

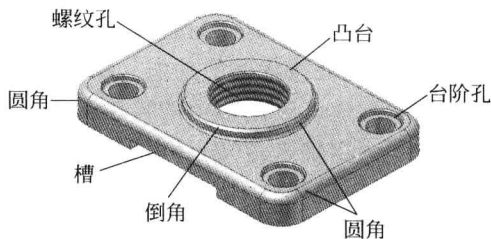


图 1-9 轴架的主特征和辅助特征