

■ 普通高等教育机械工程及自动化专业规划教材

3D 机械制图

续 丹 主编

3D 机 械 制 图
3D 机 械 制 图
3D 机 械 制 图
3D 机 械 制 图



机械工业出版社
China Machine Press

本书以三维实体机构的表达方式为主干, 改变过去用二维工程图表达三维实体的方法, 建立了以产品三维实体设计表达方法和二维工程图表达方法并重的知识结构体系。在培养学生直接运用三维设计表达能力的同时, 也培养学生二维工程图的读图及应用能力。主要内容包括: 几何体三维特征建模的基本方法、零件的结构分析与三维建模、装配体的结构分析与建模、生成工程图的投影基础、几何体二维图样的表示方法、轴测图、零件工程图的生成、装配工程图的生成与阅读等。

本书可作为高等学校机械类(包括能源动力类)各专业教材, 也可作为函授大学、电视大学、职业培训学院等相关专业的教材。与本教材配套的《3D 机械制图习题集》、《三维设计软件应用指南——Solid Edge 实用技术与技巧》由机械工业出版社同时出版, 供读者选用。

图书在版编目(CIP)数据

3D 机械制图/续丹主编. —北京: 机械工业出版社, 2002.8

普通高等教育机械工程及自动化专业规划教材

ISBN 7-111-10611-3

I. 3... II. 续... III. 三维—机械制图: 计算机制图—高等学校—教材 IV. TH126

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 050306 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王霄飞 张祖凤

封面设计: 陈 沛 责任印制: 闫 焱

中国农业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·8.125 印张·312 千字

0 001—4 000 册

定价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

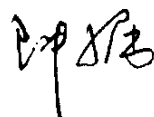
序

改革开放以来,我国高等教育的专业目录经过了3次大的调整。1987年的专业目录由原来的1400多种调整到740种,1993年又调整到504种,1998年教育部颁布的新专业目录再调整到目前的249种。专业目录的调整,改变了过去狭窄的“对口专业教育”观念,拓宽了专业知识范围,使我国高等教育在专业设置上与发达国家比较接近,也有利于培养具有较宽知识结构和扎实理论基础的复合型人才。

在这一系列的专业调整及教学改革过程中,“机械工程及自动化”大专业教学计划有了根本性的变化,不仅根据机械工程学科的发展增加了一些课程,而且对原来设置的课程也作了较大调整。显然原来使用的专业教材已不能适应现代机械工程及自动化专业的教学要求,编写一套具有较宽知识面且能较全面反映当前机械制造领域发展的新理论、新方法与新技术的教材就显得非常迫切。

正是在这一背景下,西安交通大学机械工程学院与机械工业出版社共同策划、组织了我国西部地区部分高校“机械工程及自动化”系列教材的编写工作。参加编写的学校有西安交通大学、西北工业大学、西安电子科技大学、西安建筑科技大学、西安理工大学、昆明理工大学、四川大学等。目前确定的系列教材包括《机械工程测试技术》、《先进制造技术导论》、《工程材料基础》、《机械设计基础》、《机械设计方法及工程图学》、《数控技术》、《计算机辅助设计与制造》、《先进设计方法》、《材料成形技术基础》、《机械制造技术基础》等。这些教材初步形成了机械工程及自动化专业主干课程的教材框架。其编写的定位点是适应于大机械类专业本科生学习。教材特别注重拓宽基础知识、加强工程背景和培养学生的工程实践能力。以期形成一个新的、适应于21世纪我国现代化建设和市场经济发展的大机械类专业教材体系。

系列教材的出版符合教学改革的精神,注重教材内容的创新性和系列的整体性,注重教学和人才培养的规律,同时反映了西部部分高校教学改革成果,具有明显特色。此系列教材将为我国机械工程及自动化专业建设和高等教育的教材建设作出积极的贡献。希望这套系列教材的出版能引起各校的关注与帮助,在实际使用中不断进行修订和完善,为我国高等教育机械类人才的培养不断作出贡献。



2001年10月26日

序 言

20 世纪 90 年代，为了在工程设计和产品开发中提高设计效率，缩短设计周期，提高设计质量，我国实施了 CAD 应用工程。经过 10 年的努力，在 CAD 技术的普及应用，提高产品的竞争力以及人才培养等方面均取得了巨大成就。进入 21 世纪，CAD 技术的推广应用正向着深度和广度继续发展。

在以“甩掉图板”为切入点的 CAD 技术的推广应用中，一开始大多数设计人员利用二维 CAD 软件进行产品设计，并很快得到了普及，收到了良好的效果。这是因为这种设计方式与过去传统的手工设计方式并无本质上的区别，只是利用了先进的计算机二维绘图系统，广大设计人员可以很快适应这种变化。随着 CAD 应用的逐步深入，根据设计需求，人们发现直接从三维入手进行产品设计有许多好处。首先，它更符合人们进行创新设计的思维方式，事实上，任何产品在设计构思时，人们头脑中的形象都是三维的，只不过过去没有一种方法能迅速实现人们头脑中三维形体的构建，现在的三维 CAD 系统已经提供了这种可能性，满足了从三维入手进行产品设计的需求，应该说这种做法更符合设计活动的客观规律。其次，产品的三维设计还带来了另外的好处，那就是设计所得到的三维数字化模型为后续的有限元分析、数控编程、模拟与仿真等设计活动提供了信息源，使 CAD/CAE/CAM 的信息集成，乃至企业信息化中更大范围的信息集成成为可能。

现在回过头来看看我国工科高等教育中的工程图学的教学情况。传统工程图学的体系是一个解决空间形体的二维表达与标注的体系，是与传统手工设计相适应的，以后增加了计算机绘图的内容，但仍然是与二维的设计方式接轨的。现在的设计实践与需求要求工科高等教育中工程图学的教学必须要在保留二维表达与标注的基础上，转向图形的三维表达与建模。正是顺应了这种社会需求，我们很高兴地看到了这本书的出版。这本书的最重要的特点就是将原来的如何把空间形体进行二维表达与标注的一套体系、内容和方法改变为如何把空间形体建成三维数字化模型，再用二维工程图加以表达与标注的一套新的体系、内容与方法，即本书作者在前言中所说的：“建立了以三维实体结构的表达方式为主干，以三维实体设计表达方法和二维工程图表达方法并重的知识结构体系”，这体现了本书的改革力度与新的创意。

VI

感谢作者为我国工程图学界献出了一本好教材。希望在使用这本教材的实践中有更多的发现与改进。

中国工程图学学会第四届副理事长
清华大学精密仪器与机械学系教授

童秉枢

2002年6月

前 言

近几年,随着计算机技术的迅速发展,计算机辅助设计的广泛应用改变了工程设计人员进行工业产品设计的手段与方法,它将产品的现代设计方法引入了一个新阶段。特别是计算机三维 CAD 设计软件应用的普及,使得传统的机械设计逐步实现了直接进行三维零部件的结构设计,这种设计方法具有形象、直观、精确、快速的特点。随着制造业的发展,一些企业运用三维 CAD 软件实现了生产的无图样加工,即由三维 CAD 模型直接生成数控加工指令,加工过程中不需要进行二维图样的传递,即使需要转换成二维图样,也可由三维模型在人机交互下,直接生成各种二维视图。另外商品化的三维 CAD 设计软件不断产生,并且功能不断增强,如 Pro/E、I-deas, UG II, Solid Edge、Solid Works 等。随着这些软件在企业中普及应用,现代企业中设计、生产、制造模式发生了重大的改变,导致企业对人才的新需求。这些现代设计方法的使用,实际上已对当前高等工科院校一直沿用的传统制图教学体系带来了极大的冲击。因此,为适应 21 世纪现代科技的发展,为了能培养出满足现代化企业需求的复合型人才,必须对现存的落后于社会需求的工程制图教学内容、教学体系进行大幅度的改革。

《3D 机械制图》建立了以三维实体结构的表达方式为主干,以产品三维实体设计表达方法和二维工程图表达方法并重的知识结构体系。该体系从介绍如何运用三维设计表达方法入手,逐步介绍了三维设计表达方法的基本理论,分析了利用三维设计表达的基本思想及实施的基本方法;针对具体零件,通过讨论其结构特点;分析了零件建模的基本方法,从定性的角度对产品设计进行建模分析,系统讨论了对产品实施三维实体设计表达的全过程。考虑到在目前生产实际中,部分企业还需要图纸进行加工信息的传递,因此还必须掌握工程图的概念,因此对有关二维投影理论、投影表达方法的知识点仍然进行了介绍。

本教材只侧重于理论知识的介绍,有关实体建模的实践环节,则通过与该教材配套使用的《三维设计软件应用指南——Solid Edge 实用技术与技巧》上机具体操作来完成。另一配套教材《3D 机械制图习题集》则帮助学生通过必要的实践环节,掌握三维、二维机械设计中图样的表达方法和技巧,

为下一步学习打下牢固的基础。

本教材具有以下特色：

1) 传统知识与现代科学相结合。本教材打破传统的工程制图的教学体系，建立了以三维实体结构表达为主干的教学平台，并将传统的制图理论融入该体系，使传统的工程制图与现代设计表达方法融为一体。

2) 新体系与新形势下的人才培养模式相一致。本教材的内容体系是顺应市场需求、培养满足现代化企业需求的 21 世纪复合型人才的产物，是与新形势下的人才培养模式出发点相一致的。

3) 建立了以三维建模表达方法为主干，与二维工程图表达方法并重的新体系。本教材以介绍三维机械设计建模的基本理论为基础，考虑到现阶段企业发展的实际情况，又介绍了工程图生成的基本理论，着重培养学生的读图能力，使学生能够适应不同企业需求。

4) 提出了一些构建实体的新概念。为更恰当地表达产品构建的过程，本教材提出了一些新名词，如“广义柱”、“特征平面”等，并建立了三维实体建模的基本理论。

5) 三种实体表达能力的综合培养。通过本教材及配套教材的学习，培养学生具有应用三维实体软件进行实体建模的能力，具有应用三维实体软件生成二维工程图并能完善所生成的工程图的能力（读图能力），以及具有一定的利用仪器绘图的能力。使学生在具有利用现代化手段表达产品的同时，仍具有一定的传统绘图能力。

6) 书中全部采用了最新国家标准。

参加本教材编写工作的有西安交通大学续丹（第一、二、三章，附录 B～J），罗爱玲（第四章中第一、二、三节、附录 A），周亚滨（第四章中第四、五、六节，第六章），郑镁（第五章），冯国明（第七、八章），张群明（附录 K），空军工程大学导弹学院王崴完成了部分标准件实体建模、微动机构建模的工作。续丹任主编。北京理工大学董国耀教授任主审。承蒙北京理工大学董国耀教授仔细审阅，提出了许多具体的修改意见。北京清华大学童秉枢教授，西安交通大学姜琪教授、徐海波教授、洪曼君副教授也对本书提出了许多宝贵的建议，在此表示衷心的感谢！同时对西安交通大学教务处处长张陵教授的大力支持表示感谢！

在本书编写过程中，还得到西安交通大学机械学院院长邢建东教授、副院长李涤尘教授，EDS PLM Solutions Solid Edge 公司陆大绚教授，西安交通大学机制 17 班冯晓辉、黄挺等同学的大力支持，并同时得到图学界许多师长的指点，在此一并表示感谢。

本书参考了一些国内外相关的著作，在此特向有关作者致意。

由于水平有限，加之时间紧迫，又是一本首次采用的新体系教材，内容不当之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

编 者
2002 年 4 月

目 录

序
序言
前言

绪论	1
第一章 几何体三维特征建模的基础	4
第一节 几何体三维特征建模的基本方法	4
第二节 基本几何体素与特征	6
第三节 简单几何特征的创建	9
第四节 复杂几何体的建模	12
第二章 零件的结构分析与三维建模	18
第一节 典型零件的结构分析与建模	18
第二节 标准件、常用件的结构分析与建模	28
第三章 装配体的结构分析与建模	46
第一节 装配体的结构分析	46
第二节 装配体建模	48
第三节 微动机构装配体建模举例	51
第四章 生成工程图的投影基础	54
第一节 投影法的基本知识	54
第二节 基本几何元素的投影	61
第三节 简单几何体的二维投影图的生成	72
第四节 立体表面交线的投影	74
第五节 复杂几何体二维投影图的读图	90
第六节 几何体二维投影图的尺寸标注	96
第五章 几何体二维图样的表示方法	104
第一节 视图	104
第二节 剖视图	108
第三节 断面图	117
第四节 其他表示方法	119

第六章 轴测图	123
第一节 轴测图的基本知识	123
第二节 正等轴测图	124
第三节 斜二轴测图	131
第四节 轴测剖视图	132
第七章 零件工程图的生成	134
第一节 零件工程图的作用和内容	134
第二节 零件工程图的生成	134
第三节 零件工程图上的简化表示	145
第四节 零件工程图上技术要求与标注	158
第八章 装配工程图的生成与阅读	164
第一节 装配工程图的作用和内容	164
第二节 装配工程图的生成	166
第三节 装配工程图上标注与技术要求	177
第四节 装配工程图的阅读	188
第五节 装配结构的合理性简介	193
附录 A 制图国家标准	195
附录 B 常用零件结构要素	206
附录 C 螺纹	207
附录 D 螺纹结构与螺纹联接	212
附录 E 常用标准件	214
附录 F 滚动轴承	225
附录 G 弹簧	227
附录 H 极限与配合	229
附录 I 密封件	236
附录 J 常用金属材料及非金属材料	237
附录 K 产品外观造型美学设计简介	239
参考文献	246

绪 论

一、机械设计表达方法的新发展

传统的机械设计过程是一种从三维思想→二维表达→三维加工与装配的过程，要求设计人员必须具有较强的三维空间想象能力和二维表达能力。设计人员在进行产品设计时，它的脑海中必须构造出该零件的三维形状，然后按照三视图的投影规律，用二维工程图将零件的三维形状表达出来，这种设计方式工作量较大，且缺乏直观性。基于过去相关技术的约束，工程图样是进行机械设计表达最为有效的方法。然而，近几年来，随着计算机技术的发展，计算机辅助设计的广泛应用改变了工程设计人员进行机械产品的设计手段与方法，它将产品的设计方法引入了一个新阶段。特别是计算机三维 CAD 设计软件应用的普及，使得传统的机械设计和制造逐步实现了直接进行三维零、部件的结构设计，即从三维思想→三维表达的设计过程。这种设计方法具有形象、直观、精确、快速的特点。而且这种设计方法是符合人在进行产品设计时思维活动的，是与颜色、材料、形状、尺寸、位置、制造工艺等概念相关联的；并且随着计算机三维 CAD 设计软件应用的普及，使机械设计的表达方法，从以图样作为工程信息传递的载体，实现了以计算机三维实体建模为基础的计算机辅助设计、进而到计算机辅助制造一体化的无图样加工，由三维 CAD 模型直接生成数控加工指令，中间可不再需要图样进行信息的传递。在这种背景下，培养学生从事机械设计表达能力的工程图学课程内容与体系、教学方法与手段也必须适时地进行改革。

二、本课程研究的内容、任务和学习方法

《3D 机械制图》建立的是以三维实体结构的表达方式为主干，三维设计表达方法和二维工程图表达方法并重的知识结构体系，是一门实践性很强的技术基础课。教学实践环节通过学习配套教材《三维设计软件应用指南——Solid Edge 实用技术与技巧》上机实践操作及完成《3D 机械制图习题集》实现，它们相互配合使用确保了整个教学体系的完整性。通过本课程的学习，着重培养学生机械设计表达能力的综合技能。

本课程建立了两大模块：

(1) 三维实体建模的理论基础与表达方法 建立三维实体建模的理论基

础与表达方法，通过学习教材中的第一、二、三章内容及配套教材《三维设计软件应用指南——Solid Edge 实用技术与技巧》完成。并通过利用配套教材《3D 机械制图习题集》掌握三维设计软件实现实体建模的思想体系。

(2) 工程图的生成与建立 工程图的生成与建立，通过学习教材中的第四～八章内容及配套教材《3D 机械制图习题集》练习。通过这部分内容的学习，了解工程图的内容、作用、生成的方法，掌握二维图样表达三维实体的原理，同时学会运用 AutoCAD 软件二维部分修改、完善出正确的二维工程图。

另外，附录中的有关产品外观造型的美学知识简介，只是帮助学生从美学的角度，分析产品外观结构的特点，使工科学生对产品外观造型、从另外一个角度有一个新的认识。

本课程内容框架如图 0-1 所示：

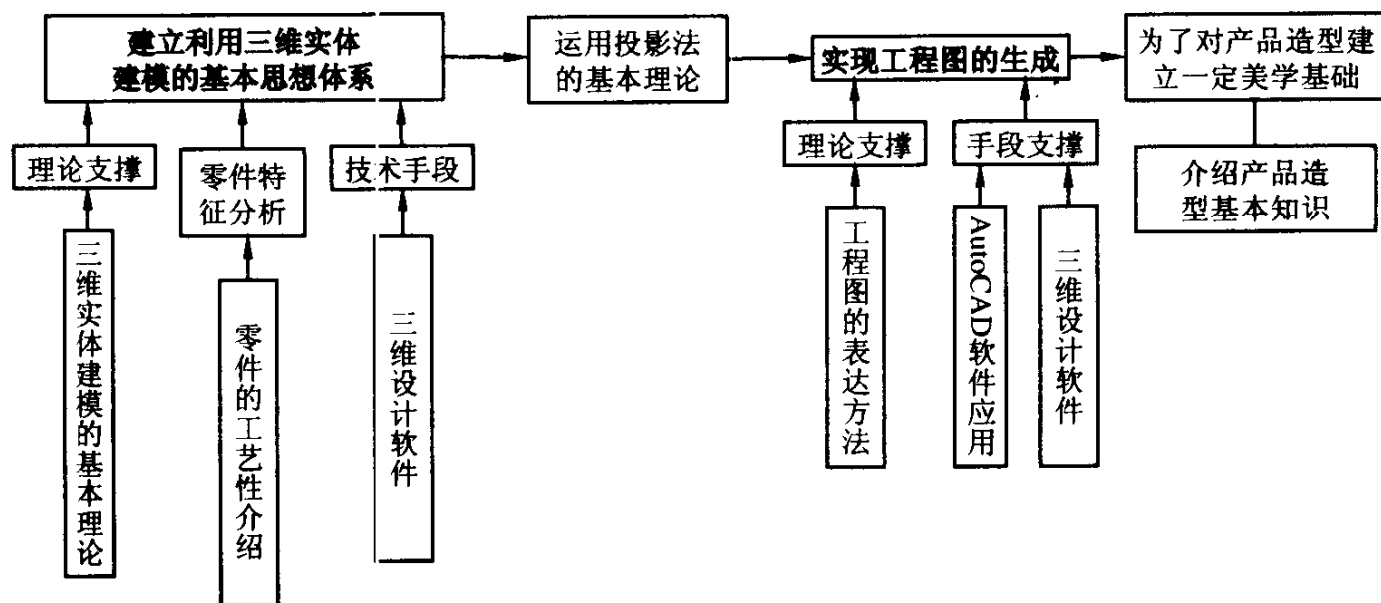


图 0-1 课程内容框架

本课程的主要任务是：

- 1) 学习机械产品三维设计的思想，掌握三维设计的表达方法。
- 2) 学习正投影法的基本理论。
- 3) 具备一定的利用三维 CAD 软件完成产品设计表达的能力工程图生成的能力及完善产品工艺性的能力。
- 4) 培养学生具备一定的读图能力和手工绘图能力。
- 5) 掌握机械图样有关知识和机械制图国家标准，具备一定查阅有关标准的能力。
- 6) 培养学生具有一定创新意识和自学能力。
- 7) 培养认真负责的工作态度，一丝不苟的工作作风。

三、本课程学习的方法

在明确了本课程的研究对象和任务之后,学习本课程的方法为听课、上机实践与课后练习相结合,具体应做到:

1) 通过前三章及配套教材《三维设计软件应用指南——Solid Edge 实用技术与技巧》内容的学习,应了解利用三维实体建模方法进行产品设计表达的总体思路和建模方法,掌握三维建模的设计思想与表达方法。

2) 通过学习投影理论基础,掌握三维实体→二维工程图的生成方法以及二者的对应关系。通过生成不同的视图,加深对投影理论的理解。

3) 查阅有关国家和机械制图标准,掌握工程图表达的相关知识。

4) 通过本课程的学习,能熟练运用一种三维设计软件进行机械产品的设计表达,并能运用 AutoCAD 软件完善由三维实体生成二维工程图所产生的缺陷。

第一章 几何体三维特征建模的基础

第一节 几何体三维特征建模的基本方法

任何机器或部件都是由若干零件按一定的装配关系和技术要求装配起来的，如图 1-1a 所示的是微动机构部件图，如图 1-1b 所示为描述微动机构各零件之间装配关系的爆炸图。

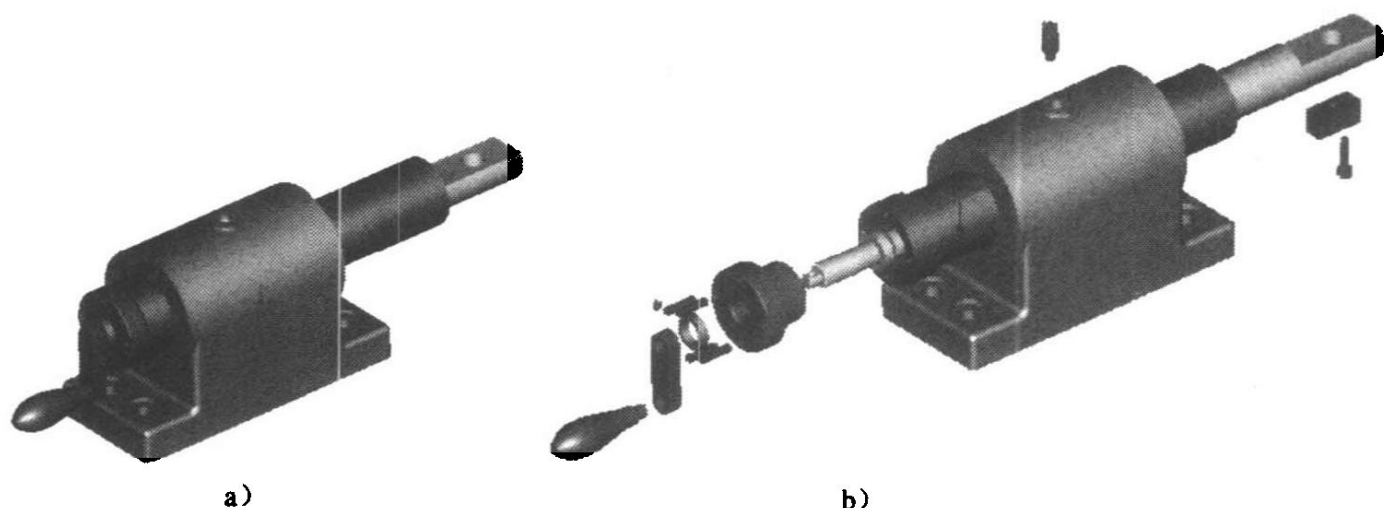


图 1-1 微动机构

a) 微动机构部件图 b) 描述微动机构各零件之间装配关系的爆炸图

零件是构成机器或部件的基本单元，零件的结构设计离不开装配体之间的装配关系，离不开零件在机器或部件中的作用，离不开加工制造中的工艺要求。总之，零件的结构离不开对产品的设计要求和工艺要求。

零件的设计表达，就需要对零件的结构特性、构成机理进行分析，寻找构成零件的特殊规律，使零件的设计表达更合理、更快捷。如何建模，如何将符合设计要求的零件或产品表达出来，这是本教材所要讲述的主要内容。

一、几何体三维特征的建立

三维建模是基于特征的实体建模。

所谓**特征**是指可以作为事物特点的征象、标志等。对实体而言，它反映某实体所特有的构成形态，这种构成形态是可以用参数驱动的实体模型。通常，特征应具有以下特点：① 特征必须是一个实体或零件中的具体构成之一；② 特征能对应于某一形状；③ 特征的性质是可以预料的，并能赋予一

定的实际意义。

实体在建模的过程中，按照特征生成的方法不同，可将实体特征的建模方式分为以下两种类型：

1. 绘制性特征（Sketched Features）

绘制性特征是指先通过绘制定义形体的某一特征面的轮廓形状，建立特征面，再利用特征运算方式而形成的一类实体特征，该特征实体建模过程中最基本的特征。绘制性特征所建立的特征具有很大的设计变更空间与建模能力。其中，**特征运算方式**是指实体建模是在已定义好的特征面上，以何种运算方式形成基本特征。

特征运算方式主要有以下几种：

（1）**Protrusion** 拉伸运算方式 构成拉伸特征，是指将一特征面沿该平面的法线方向拉伸，以建立基本特征的方式。它适合于构造柱体类（包括广义柱体类）实体特征。

（2）**Revolve** 旋转运算方式 构成旋转特征，是指以特征面作为母线，沿轴线旋转而成的基本特征的方式。它适合于构造回转体类实体特征。

（3）**Sweep** 扫掠运算方式 构成扫掠特征，指一特征面沿某一路径扫掠成的基本特征的方式。

（4）**Blend** 合成运算方式 构成合成特征，指在不同平面上由多个已定义的特征面拟合生成形体特征雏形的方式。它适合于构造棱锥类实体特征。

2. 置放性特征（Pick And Place Features）

置放性特征主要是针对已建立好的基本特征实行进一步加工的过程，如需给已建立好的某形体的模型粗胚施加圆角特征，只需选取所要施加的特征选项（如圆角），即可完成。虽然可以利用绘制性特征代替此种特征的建构方式，但置放性特征可以省略设计者的特征建构步骤，达到快速设计变更的要求。

二、几何体三维建模的方式

建模的方式分为以下两种：

1. 填料方式建立新特征

填料方式是指新增特征会增加模型的体积、重量。其结果是建立基本特征或从已有的实体中按照特征新增部分材料，如图 1-2a 所示。

2. 除料方式建立新特征

除料方式会以减少模型的体积、重量的方式产生新的特征。其结果是从已有的实体中按照特征去除掉部分材料，如图 1-2b 所示。

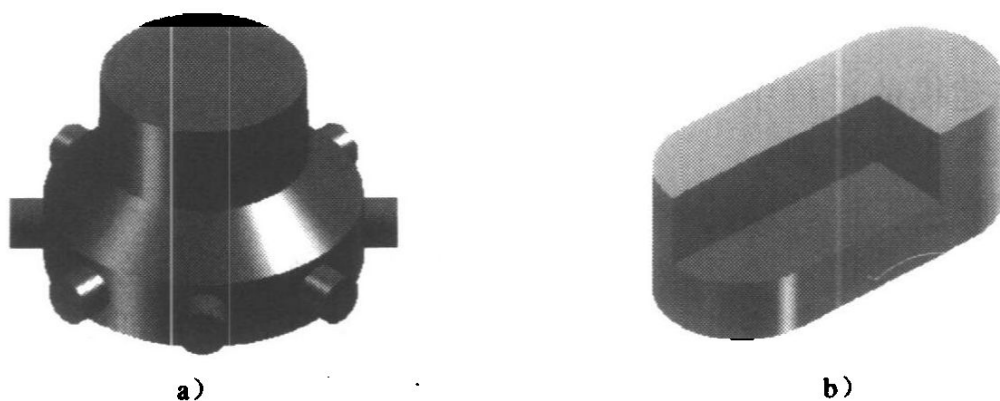


图 1-2 几何体三维建模的方式举例

a) 以填料方式建立的特征 b) 以除料方式建立的特征

三、几何体三维建模的步骤

利用绘制性特征先定义特征面，建立特征面轮廓形状，其建模的步骤如下：

- 1) 分析实体构形特点，确定特征创建的顺序。
- 2) 选取建模方式，如以填料还是以除料方式建立特征。建立新实体需采用填料方式，在已有的实体上再构建则需根据具体情况，选择填料还是以除料方式构建。
- 3) 设定运算方式，如特征是以拉伸还是以旋转、扫掠或合成方式产生。
- 4) 定义特征面，长出方向。即设定特征面是以单方向，还是以双方向长出特征。
- 5) 定义特征长出的高度、深度或旋转角度。
- 6) 利用各特征之间的位置关系，创建与修改各基本特征。

第二节 基本几何体素与特征

为更好地分析零件，我们先从其构成的几何角度来分析。不难发现，其构形存在一定的规律性，具有一定的理论基础。

从立体表面几何性质的不同来看，可将其分为平面立体和曲面立体两大类。

平面立体是指形成立体的各表面全部是平面，即立体全部被平面所包围，如图 1-3 所示棱柱体、棱锥体。平面立体的侧面称为侧棱面；上、下两平面称为底平面，底平面有几条边构成称为几棱柱或几棱锥；相邻两棱面的交线称为棱线；底面和棱面的交线称为底边。

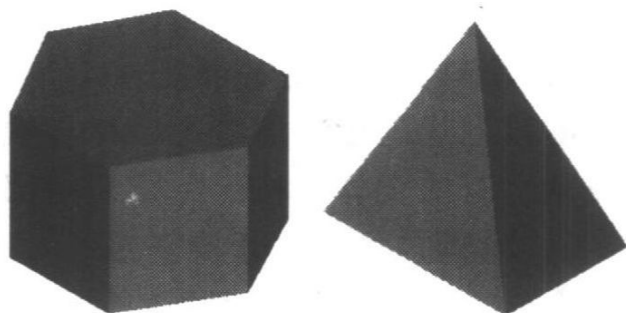


图 1-3 平面立体

曲面立体是指全部或部分由曲面围成的立体。工程中最常见的曲面立体是回转体，如图 1-4 所示的圆柱体、圆锥体、球体、圆弧回转体。其中曲面是由一动线（直线、圆弧或任意曲线）绕一定直线回转一周后形成的，该曲面又称回转面，如图 1-5 所示。图中 OO_1 为给定直线称为回转轴线，动线 AB 称为母线，母线在回转面上的任意位置称为素线。由于回转面的母线可以是直线，也可以是曲线，因此，当回转面的母线形状不同及母线与轴线的相对位置发生变化时，就会产生不同的回转面。表 1-1 列出了不同母线形状及当母线与轴线存在不同相对位置情况下形成不同回转面的情况。

从回转面的形成可知，母线上任意一点 K 的运动轨迹是一个圆，该圆称为纬圆。纬圆半径是 K 点到轴线 OO_1 的距离，纬圆所在的平面垂直于轴线 OO_1 ，见图 1-5。在回转面上可以作出一系列的纬圆。

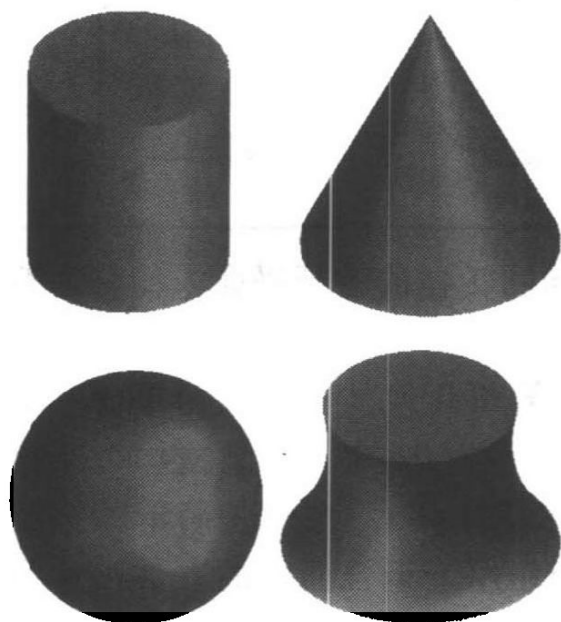


图 1-4 回转体

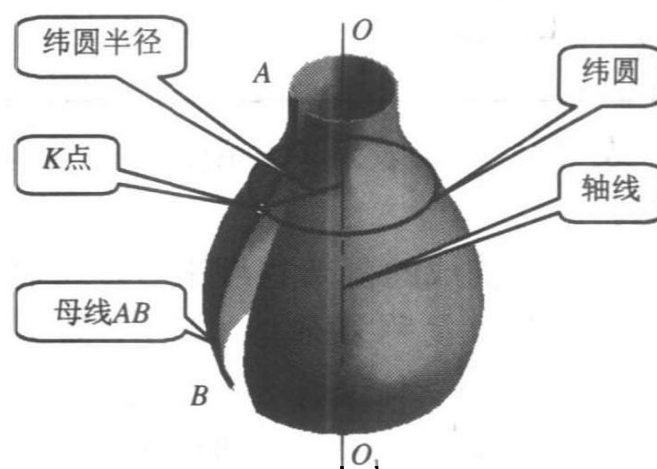


图 1-5 回转面形成

表 1-1 不同回转面形成方式

	圆柱面	圆锥面	球面	圆弧回转面
图例				
形成方式				