



21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

3D工程制图·理论篇

(第三版)

阮春红 何建英 魏迎军 主编
黄其柏 主审



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

3D 工程制图 · 理论篇

(第三版)

主编 阮春红 何建英 魏迎军

主审 黄其柏

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 提 要

本书是根据教育部高等学校工程图学教学指导委员会 2005 年制定的最新版本《普通高等院校工程图学课程教学基本要求》,以“培养具有国际竞争力的高素质创造型人才”为目标,坚持“学生的全面发展和可持续发展相结合”的教育理念,结合课程组“大机械类本科生全程三维设计能力培养模式的研究与实践”、“三维表达在工程图学中的定位研究与实践”等教改项目所取得的成果与经验编写而成的。

本书主要内容包括产品的设计过程与表达方法、几何实体的构成方式、制图的基本知识和轴测图、几何实体建模的基础知识、几何实体的三视图与三维建模、组合体的建模与三视图、几何实体的常用表达方法、零件的构形与零件工程图、零件间的连接方式、装配体设计及装配工程图等 10 章。与本书配套的辅导用书《3D 工程制图·实践篇》(第三版)、教学光盘也同时出版发行,其中光盘内容包括教学素材、电子挂图、实践篇源文件。

本书可作为高等工科院校电类、应用理科各专业工程制图课程的教材,也可供电大、职大及函授大学等高等工业院校同类专业师生及有关工程技术人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

3D 工程制图. 理论篇/阮春红,何建英,魏迎军主编. —3 版. —武汉:华中科技大学出版社,2014. 10
ISBN 978-7-5680-0352-0

I. ①3… II. ①阮… ②何… ③魏… III. ①工程制图-计算机制图-高等学校-教材 IV. ①TB237

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 191902 号

3D 工程制图·理论篇(第三版)

阮春红 何建英 魏迎军 主编

责任编辑:姚同梅

封面设计:潘 群

责任校对:刘 竣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中理工大学印刷厂

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:16.25

字 数:343 千字

版 次:2010 年 9 月第 1 版 2011 年 8 月第 2 版 2014 年 9 月第 3 版第 1 次印刷

定 价:32.00 元(含 1CD)



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
编 审 委 员 会

顾问： 姚福生 黄文虎 张启先
 (工程院院士) (工程院院士) (工程院院士)

 谢友柏 宋玉泉 艾 兴
 (工程院院士) (科学院院士) (工程院院士)

 熊有伦
 (科学院院士)

主任： 杨叔子 周 济 李培根
 (科学院院士) (工程院院士) (工程院院士)

委员： (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一	王安麟	王连弟	王明智	毛志远
左武炘	卢文祥	朱承高	师汉民	刘太林
李 斌	杜彦良	杨家军	吴昌林	吴 波
吴宗泽	何玉林	何岭松	陈康宁	陈心昭
陈 明	陈定方	张春林	张福润	张 策
张健民	冷增祥	范华汉	周祖德	洪迈生
殷国富	宾鸿赞	黄纯颖	童秉枢	傅水根
廖效果	黎秋萍	戴 同		

秘书： 刘 锦 徐正达 万亚军

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序

“中心藏之，何日忘之”，在新中国成立 60 周年之际，时隔“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”出版 9 年之后，再次为此系列教材写序时，《诗经》中的这两句诗又一次涌上心头，衷心感谢作者们的辛勤写作，感谢多年来读者对这套系列教材的支持与信任，感谢为这套系列教材出版与完善作过努力的所有朋友们。

追思世纪交替之际，华中科技大学出版社在众多院士和专家的支持与指导下，根据 1998 年教育部颁布的新的普通高等学校专业目录，紧密结合“机械类专业人才培养方案体系改革的研究与实践”和“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革研究与实践”两个重大教学改革成果，约请全国 20 多所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师，经多年辛勤劳动编写了“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。这套系列教材共出版了 20 多本，涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程，是一套改革力度比较大的教材，集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校在改革机械工程类人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材出版发行 9 年来，已被全国数百所院校采用，受到了教师 and 学生的广泛欢迎。目前，已有 13 本列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材，多本获国家级、省部级奖励。其中的一些教材（如《机械工程控制基础》《机电传动控制》《机械制造技术基础》等）已成为同类教材的佼佼者。更难得的是，“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”也已成为一个著名的丛书品牌。9 年前为这套教材作序的时候，我希望这套教材能加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作，对机械

工程类专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用,现在看来,这一目标很好地达到了,让人倍感欣慰。

李白讲得十分正确:“人非尧舜,谁能尽善?”我始终认为,金无足赤,人无完人,文无完文,书无完书。尽管这套系列教材取得了可喜的成绩,但毫无疑问,这套书中,某本书中,这样或那样的错误、不妥、疏漏与不足,必然会存在。何况形势总在不断地发展,更需要进一步来完善,与时俱进,奋发前进。较之9年前,机械工程学科有了很大的变化和发展,为了满足当前机械工程类专业人才培养的需要,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,对这套系列教材进行了全面修订,并在原基础上进一步拓展,在全国范围内约请了一大批知名专家,力争组织最好的作者队伍,有计划地更新和丰富“21世纪机械设计制造及其自动化专业系列教材”。此次修订可谓非常必要,十分及时,修订工作也极为认真。

“得时后代超前代,识路前贤励后贤。”这套系列教材能取得今天的成绩,是几代机械工程教育工作者和出版工作者共同努力的结果。我深信,对于这次计划进行修订的教材,编写者一定能在继承已出版教材优点的基础上,结合高等教育的深入推进与本门课程的教学发展形势,广泛听取使用者的意见与建议,将教材凝练为精品;对于这次新拓展的教材,编写者也一定能吸收和发展原教材的优点,结合自身的特色,写成高质量的教材,以适应“提高教育质量”这一要求。是的,我一贯认为我们的事业是集体的,我们深信由前贤、后贤一起一定能将我们的事业推向新的高度!

尽管这套系列教材正开始全面的修订,但真理不会穷尽,认识不是终结,进步没有止境。“嚶其鸣矣,求其友声”,我们衷心希望同行专家和读者继续不吝赐教,及时批评指正。

是为之序。

中国科学院院士

fan

2009.9.9

第三版前言

随着计算机图形学的发展、计算机数据库的进步和计算机性能的提高,CAD/CAE/CAM技术迅速发展,出现了新的机械产品生产模式:构思三维产品→计算机三维实体建模→数控编程→加工。传统工程图学的教学内容已落后于现代工业生产实际。为了培养适应经济发展需要、具有时代气息的创新人才,必须进行工程图学教学内容与教学方法的重新思考与定位研究——建立以三维实体设计为主,用三维模型生成符合国家标准的二维工程图的新工程制图教学体系。

本书是根据教育部高等学校工程图学教学指导委员会2005年制定的最新版本《普通高等院校工程图学课程教学基本要求》,以“培养具有国际竞争力的高素质创造型人才”为目标,坚持“学生的全面发展和可持续发展相结合”的教育理念,结合课程组“大机械类本科生全程三维设计能力培养模式的研究与实践”、“三维表达在工程图学中的定位研究与实践”等教改项目所取得的成果与经验编写而成的。本书具有以下特点。

(1) 着重培养学生的产品表达能力,特别是熟练运用三维CAD系统进行产品的三维造型和二维工程图表达的能力。

(2) 遵循从三维实体到二维图形的认知规律,建立从三维实体构形向二维工程图表达的体系,摒弃传统工程制图教材从抽象的平面到具体的空间的体系。

(3) 对几何实体间自然形成的截交线与相贯线不作二维图解的要求,重点培养学生的三维构形思维 and 创新能力。

(4) 结合当前二维CAD与三维CAD将在很长的一段时期内共存,是三维CAD的重要补充的现实,着重介绍由三维实体建模生成符合当前国家标准的二维工程图,因此表达方法仍然是本书的重点内容,同时采用最新国家标准。

(5) 本书采用的三维软件——Autodesk Inventor 2010是美国Autodesk公司最新开发的三维数字化设计软件,它除了具有一般三维软件的优点外,还具有以下特色:独创的自适应技术,进一步完善了参数化

设计方案;与世界领先的 DWG 文件的兼容性,使设计者能最大限度地利用原有的设计数据和资源;完善的标准件和常用件资源库,可以多途径帮助设计人员提高设计能力和设计速度;可快速、精确地从三维模型中生成工程图。

(6) 书中所举实例多为常见电气元件,同时为了学生的全面发展和可持续发展,在附录中增加了 AutoCAD 二维绘图简介、Inventor 三维线路设计简介等内容,以激发非机械类学生学习的兴趣和拓宽学生的知识面。

为了方便老师教学和学生使用,与教材配套的教学素材库、习题等电子文档同时随光盘发行。

参加本书编写的有:华中科技大学阮春红(第 1、2、8 章、附录 B)、何建英(第 9、10 章)、魏迎军(第 5、7 章)、李喜秋(第 4 章、附录 C)、程敏(第 6 章)、张俐(第 3 章、附录 A)。本书由阮春红、何建英、魏迎军任主编。

华中科技大学黄其柏教授主审本书,并提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本书的编写工作得到了教研室许多老师和教辅人员的支持,本书也凝聚着参与教学改革和教学基地建设的全体同志的智慧和汗水,在此对这些人员一并表示感谢。

在编写本书的过程中参考了国内一些同类著作,相关书目已作为参考文献列于书末,在此向这些著作的作者表示深深的谢意。

由于编者水平有限,书中错误及疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

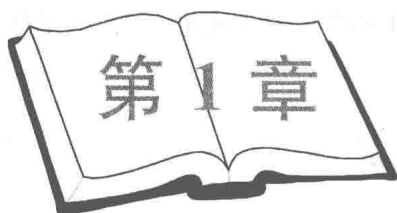
编 者

2014.9 于华中科大



第 1 章	产品的设计过程与表达方法	(1)
1.1	产品的设计过程	(1)
1.2	产品的表达方法	(2)
1.3	本课程的学习任务	(4)
1.4	本课程的学习方法	(5)
第 2 章	几何实体的构成方式	(6)
2.1	几何立体分类	(6)
2.2	基本体的构成方式	(7)
2.3	组合体的构成	(8)
第 3 章	制图的基本知识和轴测图	(11)
3.1	制图国家标准的基本规定	(11)
3.2	几何作图	(18)
3.3	平面图形的绘制方法	(20)
3.4	徒手画图	(23)
3.5	投影法基础	(25)
3.6	轴测图	(27)
第 4 章	几何实体建模的基础知识	(36)
4.1	参数化设计	(36)
4.2	特征设计	(38)
4.3	基于特征的参数化 CAD 系统——Inventor 基础知识	(39)
4.4	Inventor 的特征草图设计	(45)
第 5 章	几何实体的三视图与三维建模	(54)
5.1	三视图的形成及其投影规律	(54)
5.2	几何元素的三投影	(57)
5.3	基本体的三视图及其建模	(67)
5.4	基本体的建模实例	(73)
第 6 章	组合体的建模与三视图	(75)
6.1	组合体的表面关系	(75)
6.2	组合体的建模	(76)

6.3	组合体的三视图	(83)
6.4	几何实体的尺寸标注	(93)
6.5	组合体的读图	(96)
第7章	几何实体的常用表达方法	(102)
7.1	视图	(102)
7.2	剖视图	(107)
7.3	断面图	(116)
7.4	规定画法与简化画法	(118)
7.5	用 Inventor 创建工程图——表达方法综合运用	(121)
7.6	看剖视图	(126)
第8章	零件的构形与零件工程图	(128)
8.1	零件的构形设计	(128)
8.2	零件工程图的内容	(129)
8.3	常见零件结构及尺寸标注	(131)
8.4	零件图的技术要求	(138)
8.5	读零件图	(142)
8.6	典型零件的结构分析与构形	(144)
8.7	典型零件的工程图(Inventor 工程图)生成	(149)
第9章	零件间的连接方式	(158)
9.1	螺纹连接	(158)
9.2	铆钉连接	(162)
9.3	键连接和销连接	(164)
第10章	装配体设计及装配工程图	(168)
10.1	装配体设计的约束	(168)
10.2	常见的装配工艺结构	(171)
10.3	装配体设计的方法	(176)
10.4	装配工程图的作用与内容	(181)
10.5	装配工程图中的表达方法	(183)
10.6	装配工程图中的尺寸标准	(188)
10.7	装配工程图中的其他内容	(189)
10.8	装配工程图的生成	(190)
10.9	看装配图及由装配图拆绘零件图	(195)
附录A	Auto CAD 二维绘图简介	(198)
A.1	Auto CAD 二维绘图软件简介	(198)
A.2	Auto CAD 二维绘图实例	(201)
附录B	Inventor 三维线路设计简介	(217)
附录C	常用的设计资料	(225)
参考文献		(247)



产品的设计过程与表达方法

产品是人类为了生存和发展的需要而改造自然界的产物,本章简要介绍产品的设计过程与表达方法,以及本课程的学习任务和学习方法。

1.1 产品的设计过程

产品包括的范围极其广泛,各种产品的用途和性质差别很大,这就使产品设计学科产生了许多分支,如船舶设计、飞机设计、汽车设计、家电设计、电子产品设计、服装设计、建筑设计、园林设计等。一般情况下,产品的设计过程如图 1-1 所示。由图 1-1 可以看出,产品的设计是一个复杂的过程,产品设计的表达(三维模型或二维工程图)

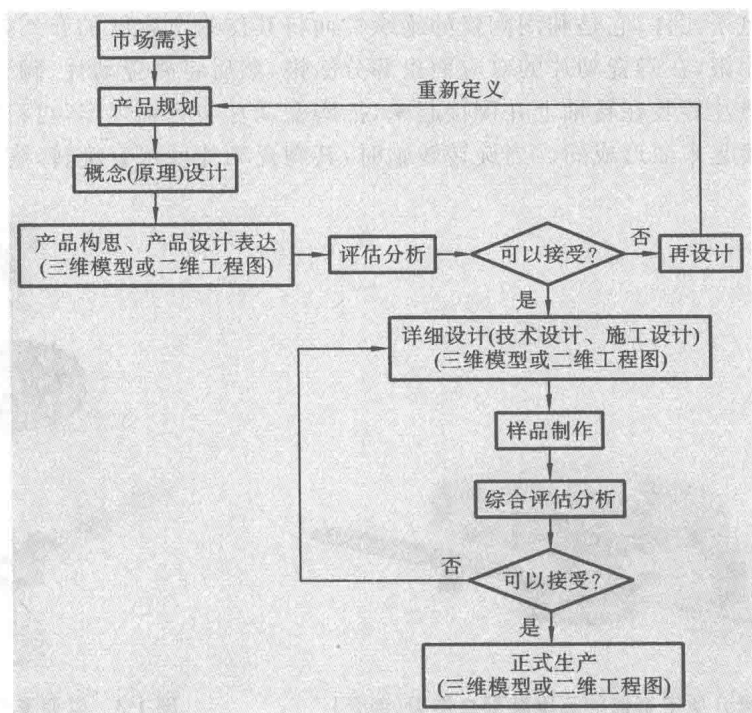


图 1-1 产品的设计过程

是设计过程中的重要一环,从评估分析到样品制作,直至产品的正式生产,这一环都是必不可少的。

1.2 产品的表达方法

产品构思与产品表达是产品设计阶段中的重要组成部分。产品构思(即构形)时,设计者必须把自己的构思用写、说、画等形式表达出来,其中写、说往往很难使人理解设计者构思的“形”。只有画,即将构思的“形”用三维模型或二维及一维图形形象地表达出来,才能方便人体会设计者的构思过程,真正理解设计者的设计意图。设计者所表达出来的就是技术图样。

技术图样是表达产品形状、大小和技术要求的重要技术资料,是一种信息载体,和文字、语言一样,是人类表达、交流设计思想的工具之一。技术图样可以用三维模型来表达,也可以用二维工程图来表达;技术图样的载体可以是纸质的,也可以是计算机存储介质。

图 1-2 所示为微调瓷介质电容器的三维装配立体图,图 1-3 所示为微调瓷介质电容器的三维装配爆炸图。图 1-2、图 1-3 具有很强的立体感,即使缺乏工程制图知识,也能看出微调瓷介质电容器是由七个零件装配而成的,并能看出各个零件的形状、零件之间的相对位置、连接关系、装配关系、安装顺序等。微调瓷介质电容器是工业中常用的电子元件,它是利用陶瓷的绝缘性而将其作为电容器的介质,在陶瓷定片的一面部分涂银,在陶瓷动片的对应面也部分涂银,然后将陶瓷动片、陶瓷定片、接触簧片、锡片、垫片等装在转轴上并铆接起来,把陶瓷动片与转轴焊牢,再将陶瓷定片与铆钉焊片铆接起来而形成的。当旋转转轴时,其陶瓷动片就跟着旋转,陶瓷动片与陶

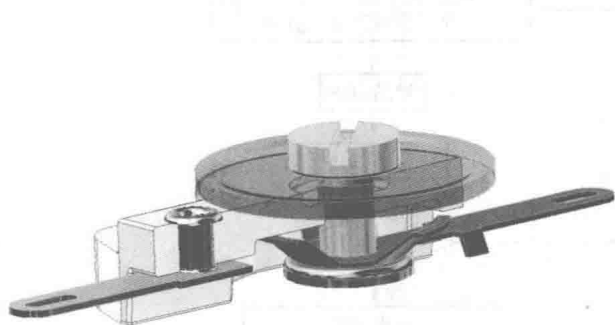


图 1-2 微调瓷介质电容器的三维装配立体图(剖开)



图 1-3 微调瓷介质电容器的三维装配爆炸图

瓷定片的涂银部分的重叠量发生改变,从而起到增减电容量的作用,这就是微调瓷介质电容器的工作原理。由此不难看出,用三维模型表达产品时可视化程度高、形象直观、设计效率高,但其尺寸标注和出图能力差。图 1-4 所示为微调瓷介质电容器的二维装配工程图,它表达的内容与图 1-2 相同,但由于没有直观性,在没有掌握正投影知识时就看不懂。二维工程图经历了两百多年的逐步完善过程,需根据多面正投影原理,采用各种视图、剖视图等方法,按照完整、清晰、合理的原则绘制,其具有规范、通用等优点,但直观性较差。

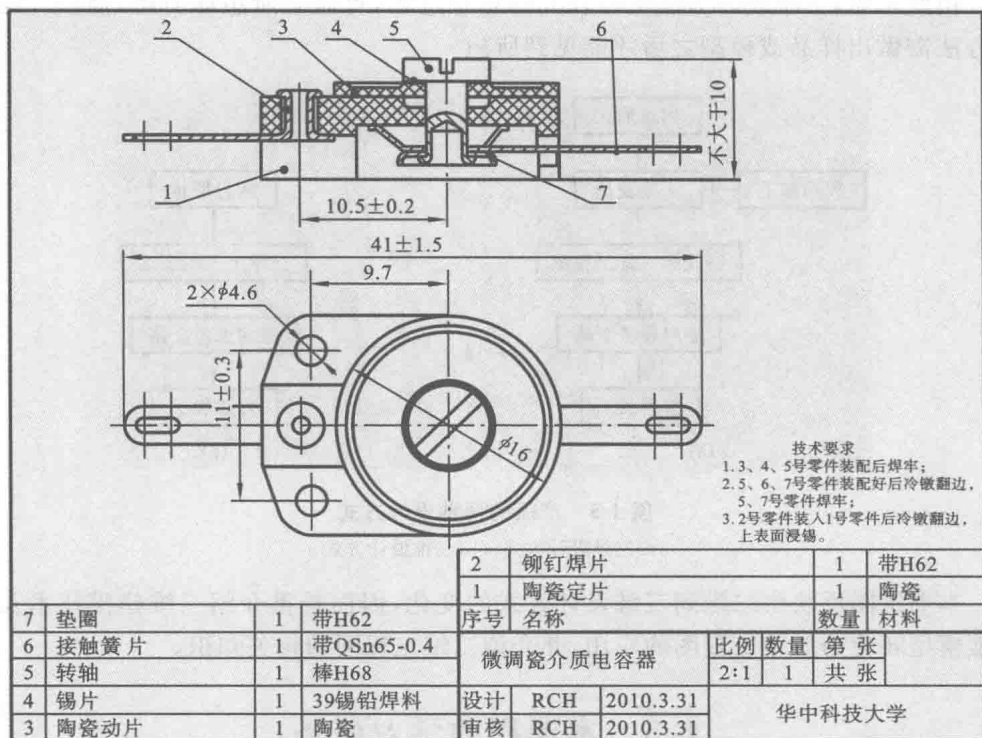


图 1-4 微调瓷介质电容器的二维装配工程图

随着计算机技术的发展和普及,人类从 20 世纪 80 年代后期开始,逐渐以计算机绘图代替了手工绘图。使用计算机绘图不仅绘图质量高,而且便于修改,但设计过程没有变化,设计质量也没有明显的提高。到了 20 世纪 90 年代末期,伴随着计算机辅助设计技术的发展,表达方式开始从二维工程图(见图 1-4)向三维模型(见图 1-2、图 1-3)转变。用三维模型表达产品时,可以从不同的角度旋转观察产品模型,就像在空间观察真实物体一样,甚至不再需要二维工程图而直接根据三维模型用数控机床加工(无图纸加工)和模拟装配。三维模型为企业数字化生产提供了完整的设计、工艺和制造信息,使设计过程发生了变化,设计质量得到提高。可是,目前受制造技术等因素的制约(包括三维系统出图能力还没有达到二维系统出图的标准化水平等),所

以二维工程图必将成为三维设计的重要补充,与三维设计在很长的一段时期内共存,但“从三维开始设计”的设计表达方法必然会逐步取代传统的二维工程图的设计表达方法。

产品三维设计与二维设计过程分别如图 1-5(a)、(b)所示。三维设计过程是构思产品的形状后直接进行三维建模,再将三维模型转换成加工代码,直接进行数控加工,或者利用三维模型创建二维工程图。二维设计过程是先构思产品的三维形状,再将三维构思转换成二维工程图来表达,最后逆向思考得到三维形体,按照图样进行加工。由此可见,三维设计方法更符合人的思想过程,可做到所想即所得,而按二维设计方法需做出样品或模型之后才能见到所想。

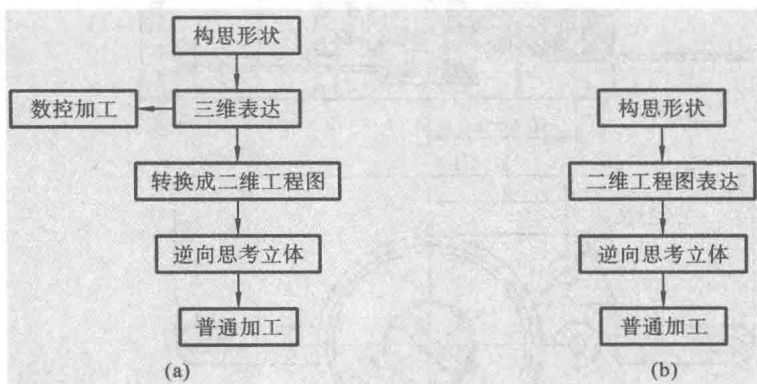


图 1-5 产品的两种设计方式

(a)三维设计方式;(b)二维设计方式

本书试图反映由二维到三维设计方式的变化,因而着重介绍三维建模技术及由三维模型转化为二维工程图的应用,并介绍二维工程图的相关知识。

1.3 本课程的学习任务

本课程是研究产品表达规律及方法的一门学科,内容包括创建、绘制、阅读三维与二维技术图样,主要是机械技术图样。绘制图样是将实物或头脑中的三维形体用三维建模技术或根据投影原理采用适当的表达方法表达出来。阅读图样是查看三维模型或采用形体分析法逆向思考,将二维图样转化为头脑中的三维形体。本课程的学习任务主要有以下几点。

(1) 培养空间形体表达能力和空间想象能力,逐步提高三维形体构思能力和创新性的三维形体设计能力,为工程设计奠定基础。

(2) 学习投影理论和正确的图学思维方法,培养用投影法表达三维形体的能力。

(3) 培养使用绘图软件进行三维表达与二维表达的能力,即培养计算机绘图、仪器绘图和徒手绘草图的能力及阅读各种介质存储的图样的能力。

(4) 培养工程意识,贯彻、执行国家标准。

(5) 培养自学能力、分析问题和解决问题的能力,以及耐心细致的工作作风和认真负责的工作态度。

通过学习本课程的三维建模、投影理论等相关知识,学习者可有效地开发自身的智力,提高综合素质。

1.4 本课程的学习方法

本课程的特点是既有系统理论又偏重于实践。要在学习投影理论、建模技术等基础理论的基础上,通过大量的建模实践、绘图和读图等练习来逐步掌握本课程的知识。在学习本课程的过程中需注意以下几点。

(1) 要获取知识并能灵活地运用知识,必须经过感觉、知觉、记忆、思维、应用等过程。应结合教学进度,加强对教学过程中使用的模型、零件、部件的感性认识,为提高空间构思设计能力积累形体资料。

(2) 从概念入手,认真学习投影理论和图学思维方法,打破思维定式,改善思维品质,为今后在学习和工作中能更好地获取知识、运用知识、创造性地解决所遇到的问题打下基础。

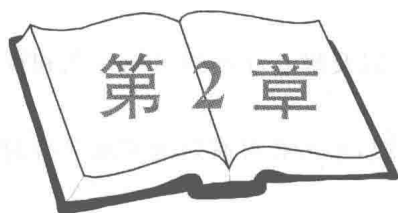
(3) 正确处理投影理论、建模技术与计算机绘图、计算机建模的关系,前者是基础理论,后者是再现理论的手段,二者均应重视。

(4) 空间思维能力和空间想象能力的培养是循序渐进的,因此,在学习过程中必须随时进行从空间形体到平面图形和从平面图形到空间形体的互相联想的思维活动,只有这样才能真正掌握投影理论。

(5) 上课认真听讲、积极思考,课后争取独立完成作业。只有通过一定数量的练习才能深入理解、掌握投影理论和图学思维方法。

(6) 严格遵守国家标准,努力做到正确、规范地设计技术图样,这是进行技术交流和指导、管理生产所必需的。

在学习过程中,应有意识地培养自己的工程意识、标准意识,有意识地培养自己的自学能力和创新能力,工程意识、标准意识、自学能力和创新能力是21世纪优秀科技人才必须具备的基本素质。



几何实体的构成方式

2.1 几何立体分类

任何机器或部件都是由若干零件按一定的装配连接关系和技术要求装配起来的。图 2-1(a)所示是剖开的高频插座装配三维图,图 2-1(b)所示是高频插座装配爆炸图,由该图可以看出高频插座是由 8 个零件装配而成的,还可以看出各个零件的形状以及零件之间的相对位置、连接关系、装配关系、安装顺序等,如:零件之间的连接多为螺纹连接;插脚的小段有一小孔,用于连接左端穿来的导线;上端制成半球头,用来连接另外的插头,实现电磁能的传输,其转接角为 90° ,这就是高频插座的工作原理。由此可见,零件是构成机器或部件的最小单元,各个零件由于作用不同而有各种各样的结构形状。尽管零件上的立体形状是千变万化的,但从几何构形的角度来看,都是有规律可循的,即大都由棱柱、棱锥、圆柱、圆锥等几何体组成。

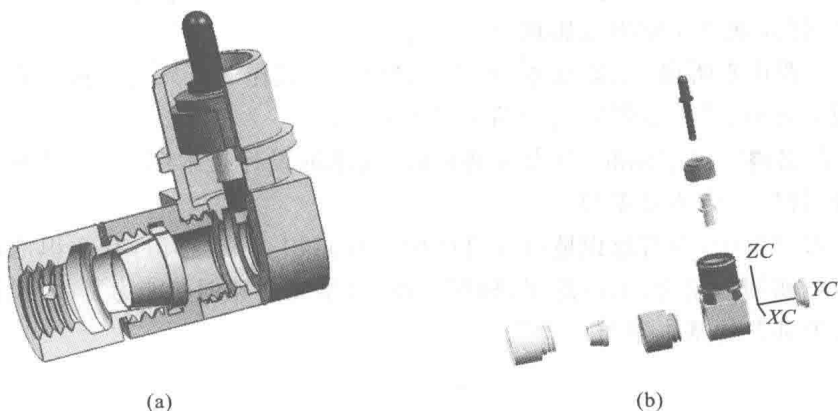


图 2-1 高频插座

(a) 高频插座的装配三维图; (b) 高频插座的装配爆炸图

按照立体构成的复杂程度,可将立体分为基本体(又称简单几何体)和组合体(又称复杂几何体)。在本课程中,习惯把一些单一的几何体或经一次完整构形操作所得到的实体称为基本体。如图 2-2 所示,棱锥、棱柱、圆柱、圆锥、圆球等是单一的几何

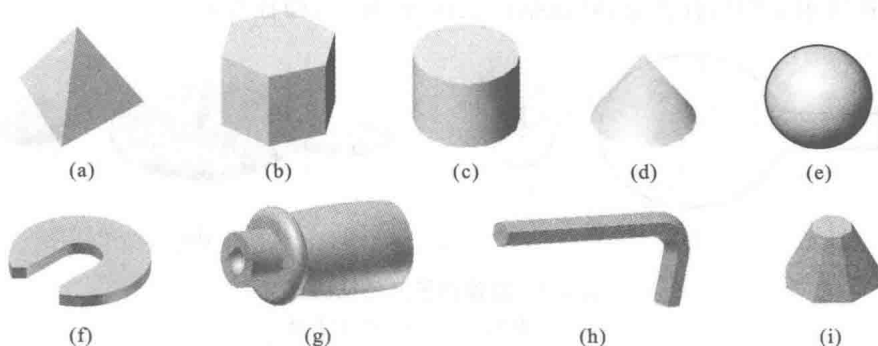


图 2-2 基本体

(a)棱锥;(b)棱柱;(c)圆柱;(d)圆锥;(e)圆球;

(f)广义柱体;(g)广义回转体;(h)扫掠体;(i)放样体

体,而广义柱体、广义回转体、扫掠体、放样体等都可以由一次完整的构形操作所得。其中,所有表面均为平面的立体又称为平面立体,表面既有平面又有曲面的立体称为曲面立体。由若干个基本体按照一定的相对位置和组合方式有机组合而形成的较为复杂的形体称为组合体,图 2-3(a)所示的杠杆开关支座即为典型的组合体。图 2-3(b)所示为杠杆开关支座的分解图。这种将组合体分解成由若干基本体组成的方法,称为形体分析法。

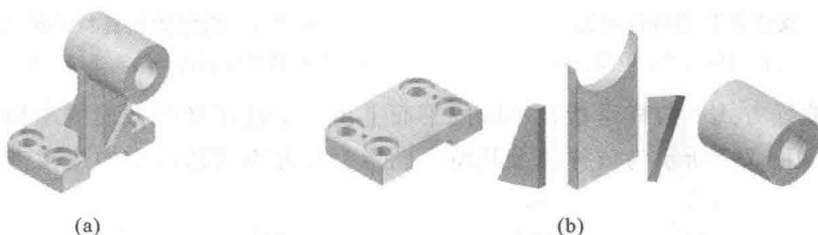


图 2-3 杠杆开关支座及其分解图

(a)杠杆开关支座;(b)杠杆开关支座分解图

由图 2-3 可见,要正确地分析组合体的结构,首先必须了解基本体的构成。

2.2 基本体的构成方式

依据现代三维设计理念,基本体都是利用扫描法构成的。扫描法是指将一截面线串沿着某一条轨迹线移动,移动的结果即所扫掠过的区域可以构成实体或片体。该截面线串又称为特征图形,它可以是曲线,也可以是曲面。根据移动的轨迹线的不同,基本体的构成方式可以分成以下几种。

(1) 拉伸方式 拉伸是指将某平面特征图形(可以是一个或多个任意封闭平面图形)沿该平面的法线方向拉伸而形成几何体。拉伸体及其特征图形如图 2-4 所示。