

八、教材成果

8.1 “十三五” 高职立体化教材：西门子 S7-300/400 PLC 项目化教程



内容提要

西门子 S7-300/400 系列 PLC (可编程控制器) 是国内应用较广、市场占有率较高的大中型产品。

本教材从实际应用出发,以 S7-300/400 系列 PLC 为对象,主要介绍大中型 PLC 的基础知识与实际应用等方面的知识,共分 11 个项目,详细讲述了 S7-300/400 系列 PLC 在电动机基本控制线路、传送带控制系统、全自动洗衣机控制系统等工程中的设计与应用及 S7-300/400 系列 PLC 网络通信等内容。

本教材语言通俗易懂,实例实用性和针对性强,且对每个实例均进行了软件仿真。本教材既可作为工程技术人员自学教材,也可作为高等职业教育、成人教育电气工程、自动化、机电一体化和计算机控制等专业的 PLC 应用教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

西门子 S7-300/400 PLC 项目化教程/朱清智,屈保中主编. —郑州:
河南科学技术出版社, 2020. 5

“十三五”高等职业教育立体化教材

ISBN 978-7-5349-9982-6

I. ①西… II. ①朱…②屈… III. ①PLC 技术-高等职业教育-教材
IV. ①TM571.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 084527 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市郑东新区祥盛街 27 号 邮编: 450016

电话: (0371) 65788859 65788686

网址: www.hnstp.cn

策划编辑: 徐素军

责任编辑: 张 恒

责任校对: 李利平

封面设计: 张 伟

责任印制: 张艳芳

印 刷: 河南新华印刷集团有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 13.25 字数: 330 千字

版 次: 2020 年 5 月第 1 版 2020 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 36.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系并调换。

项目一 快速了解 PLC	(1)
一、PLC 的基本概念	(1)
二、PLC 的组成与工作原理	(4)
三、S7-300/400 PLC 的硬件系统	(11)
四、编程软件 STEP 7 的安装与使用	(21)
项目拓展	(25)
项目二 传送带控制系统设计与调试	(26)
一、基本位逻辑指令及其应用	(26)
二、PLCSIM 软件的使用	(31)
三、项目训练——传送带正反转控制程序设计与调试	(34)
项目拓展	(37)
项目三 天塔之光控制系统设计与调试	(38)
一、定时器指令和 CPU 时钟存储器	(38)
二、项目训练——天塔之光控制程序设计与调试	(42)
项目拓展	(45)
项目四 全自动洗衣机控制系统设计与调试	(46)
一、计数器指令及其应用	(46)
二、比较指令和传送指令	(49)
三、项目训练——全自动洗衣机控制程序设计与调试	(50)
项目拓展	(54)
项目五 自动售货机控制系统设计与调试	(55)
一、数据类型基础	(55)
二、数学运算指令及其应用	(56)
三、项目训练——自动售货机控制程序设计与调试	(62)
项目拓展	(66)
项目六 音乐喷泉控制控制程序设计与调试	(67)
一、移位指令及其应用	(67)



二、循环移位指令及其应用	(69)
三、项目训练——音乐喷泉控制程序设计与调试	(71)
项目拓展	(73)
项目七 水塔液位控制系统设计与调试	(74)
一、模拟量信号的应用	(74)
二、数据转换指令及其应用	(77)
三、项目训练——水塔液位控制程序设计与调试	(85)
项目拓展	(89)
项目八 液体混合装置控制系统设计与调试	(91)
一、用户程序的基本结构	(91)
二、功能块与功能的生成及调用	(95)
三、组织块与中断处理	(101)
四、显示参考数据	(105)
五、项目训练——液体混合装置控制程序设计与调试	(108)
项目拓展	(114)
项目九 机械手控制系统设计与调试	(116)
一、顺序控制设计法	(116)
二、S7 Graph 软件的使用	(128)
三、项目训练——机械手控制程序设计与调试	(130)
项目拓展	(135)
项目十 饮料灌装生产线控制系统设计与调试	(136)
一、西门子工业自动化网络	(136)
二、MPI 通信网络程序设计	(146)
三、工业以太网通信程序设计	(153)
四、项目训练——饮料灌装生产线控制程序设计与调试	(157)
项目拓展	(165)
项目十一 人机界面设计与调试	(166)
一、MCGS 人机界面概述	(166)
二、MCGS 人机界面基本知识	(176)
三、MCGS 人机界面的功能	(180)
四、项目训练——全自动包衣机控制程序设计与调试	(191)
项目拓展	(202)
参考文献	(204)

项目一 快速了解 PLC

一、PLC 的基本概念

PLC 是英文词语 programmable logic controller 的缩写，中文名称为可编程逻辑控制器。世界上第一台 PLC 是 1969 年由美国数字设备公司研制成功的 PDP-14，随着技术不断发展，PLC 的功能大大增强，不仅限于逻辑控制，因此美国电器制造商协会（NEMA）于 1980 年对它重新命名，名称改为可编程控制器（programmable controller）。但是，由于它的缩写 PC 与个人电脑（personal computer）的缩写相冲突，又加上习惯的原因，人们还是经常使用可编程逻辑控制器这一称呼，并仍使用 PLC 这一缩写。

1985 年，国际电工委员会（IEC）给出了 PLC 的定义：可编程序控制器是一种数字运算操作电子系统，专为在工业环境下应用而设计。它采用了可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字的、模拟的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关的外围设备，都应按易于与工业控制系统形成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。

（一）PLC 的产生与发展

美国汽车工业的发展促进了 PLC 的产生，20 世纪 60 年代，美国通用汽车公司在调整工厂生产线时，发现继电器、接触器控制系统修改难、体积大、噪声大、维护不方便及可靠性差，于是提出了著名的“GM 十条”招标指标。这十条指标分别是：

- （1）编程简单，可在现场修改和调试程序。
- （2）维护方便，采用插入式模块结构。
- （3）可靠性高于继电器控制系统。
- （4）体积小于继电器控制装置。
- （5）数据可直接送入管理计算机。
- （6）成本可与继电器控制系统竞争。
- （7）可直接用 115V 交流电压输入。
- （8）输出量为 115V、2A 以上，能直接驱动电磁阀、接触器等。
- （9）通用性强，易于扩展。
- （10）用户程序存储器容量至少 4KB。

1969 年，美国数字设备公司研制出的 PLC 在通用汽车公司的生产线上试用，效果显著；1971 年，日本研制出第一台可编程控制器（DCS-8）；1973 年，德国研制出第一台可编程控制器；1974 年，我国开始研制可编程控制器；1977 年，我国在工业应用领域推广 PLC。

随着大规模和超大规模集成电路等微电子技术的发展，PLC 已由最初 1 位机发展到现在的由 16 位和 32 位微处理器构成的微机化 PC，而且实现了多处理器的多通道处理。如今，PLC 技术已非常成熟，不仅控制功能增强，功耗和体积减小，成本下降，可靠性提



高,编程和故障检测更为灵活方便,而且随着远程 I/O 和通信网络、数据处理及图像显示的发展,PLC 向用于连续生产过程控制的方向发展,成为实现工业自动化的一大支柱。

现在,世界上有 200 多家 PLC 生产厂家,400 多品种的 PLC 产品,按地域可分成美国、欧洲和日本等三个流派产品,各流派 PLC 产品都各具特色。其中,美国是 PLC 生产大国,有 100 多家 PLC 厂商,著名的有 A-B (Allen-Bradley) 公司、通用电气 (GE) 公司、莫迪康 (Modicon) 公司;欧洲 PLC 产品主要制造商有德国的西门子 (SIEMENS) 公司和法国的施耐德 (TE) 公司;日本主要有三菱、欧姆龙、松下、富士等公司,韩国主要有三星、LG 等公司。这些生产厂家的产品占有 80% 以上的全球 PLC 市场份额。

由于种种原因,国产品牌的 PLC 产品在国内 PLC 市场份额中所占比例很小,一直没有形成产业化规模,中国目前市场上 95% 以上的 PLC 产品来自国外公司。

在众多国产 PLC 品牌产品中,北京和利时集团公司是我国工控市场较早的参与者之一,长期专注于自动化控制系统,主要产品有可编程控制器 (PLC)、集散控制系统 (DCS)、核电站数字化仪控系统、运动控制器、触摸屏、驱动器、光电接近开关、变频器、机器视觉等。

除此之外,还有无锡信捷、黄石科威、安控科技、上海正航电子科技、汇川技术和英威腾等一大批公司也都是国内致力于工业控制领域 PLC 产品开发的知名企业。

(二) PLC 的特点

1. 使用灵活

PLC 的硬件是标准化的,加上 PLC 产品已系列化,功能模块品种多,可以灵活组成各种不同大小和不同功能的控制系统。

2. 可靠性高

微机功能强大但抗干扰能力差,工业现场的电磁干扰、电源波动、机械振动、温度和湿度的变化等,都可能导致一般通用微机不能正常工作;传统的继电器-接触器控制系统抗干扰能力强,但由于存在大量的机械触点(易磨损、烧蚀)而寿命短,系统可靠性差。PLC 采用微电子技术,大量的开关动作由无触点的电子存储器件来完成,大部分继电器和繁杂连线被软件程序取代,故寿命长,可靠性大大提高。从实际使用情况来看,PLC 控制系统的平均无故障时间一般可达 4 万~5 万小时。PLC 采取了一系列硬件和软件抗干扰措施,能适应有各种强烈干扰的工业现场,并具有故障自诊断能力。

3. 维护方便

PLC 的接口按工业控制的要求设计,有较强的带负载能力(输入输出可直接与交流 220V、直流 24V 等强电相连),接口电路一般采用模块式,便于维修更换。有的 PLC 甚至可以带电插拔输入输出模块,可不脱机停电而直接更换故障模块,大大缩短了故障修复时间。

4. 功能强

PLC 除了具备逻辑运算、定时、计数等基本功能外,还具备模拟量信号采集、运动控制、通信联网等功能。

5. 编程简单

PLC 是面向用户的设备,PLC 的设计者充分考虑了现场工程技术人员的技能和习惯。

大多数 PLC 在编程时往往已经拥有了常用的梯形图方式和面向工业控制的简单指令方式。编程语言形象直观，指令少、语法简便，不需要专门的计算机知识和语言，具有一定的电工和工艺知识的人员都可在短时间内掌握。利用编程软件，可方便地查看、编辑、修改用户程序。

6. 设计、施工、调试周期短

用继电器 - 接触器控制完成一项控制工程，必须首先按工艺要求画出电气原理图，然后画出继电器屏的布置和接线图等，进行安装调试，以后修改起来十分不便。而采用 PLC 控制，由于靠软件实现控制，其硬件线路非常简洁，而大量具体的程序编制工作也可在 PLC 到货前进行，因而缩短了设计周期，使设计和施工可同时进行。用软件编程取代硬接线实现控制功能，大大减轻了繁重的安装接线工作，缩短了施工周期。

和继电器控制系统相比，PLC 具有修改程序就能改变控制功能的优点，但是在简单控制时成本较高。另外，利用单片机也能实现自动控制。几种控制系统的比较见表 1-1。

表 1-1 几种控制系统的比较

比较内容	PLC	单片机	继电器
功能	可以实现各种复杂控制	可以实现各种复杂控制，功能最强	用大量继电器布线连接实现控制
改变控制要求	修改程序比较简单	技术难度大	更改大量硬件接线
可靠性	平均无故障时间长	一般比 PLC 差	受机械触点寿命影响
工作方式	顺序扫描	中断处理，响应最快	顺序控制
接口	直接与生产设备相连接	需要设计专门接口	直接与生产设备相连接
系统开发	调试周期短	调试技术难度大	调试周期长
硬件成本	比单片机控制成本高	一般比 PLC 低	简单控制时成本低

(三) PLC 的应用领域

目前，PLC 在国内外已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、汽车、轻纺、交通运输、环保及文化娱乐等行业或领域，应用情况大致可归纳为如下几类：

1. 离散行业自动化

数字量的逻辑控制是 PLC 最基本、最广泛的应用领域，它取代传统的继电器电路，实现逻辑控制、顺序控制，既可用于单台设备的控制，也可用于多机群控及自动化流水线，如注塑机、印刷机、订书机械、组合机床、磨床、包装生产线、电镀流水线等，如图 1-1 所示。

2. 过程控制工业

在工业生产过程当中，有许多连续变化的量，如温度、压力、流量、液位和速度等都是模拟量。为了使可编程控制器处理模拟量，必须实现模拟量和数字量之间的转换。

过程控制是指对温度、压力、流量等模拟量的闭环控制。作为工业控制计算机，PLC 能编制各种各样的控制算法程序，完成闭环控制。PID（比例 - 积分 - 微分）调节是一般闭环控制系统中用得较多的调节方法。大中型 PLC 都有 PID 模块，目前许多小型 PLC 也

具有此功能模块。PID 处理一般运行专用的 PID 子程序。过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合有非常广泛的应用，如图 1-2 所示。

3. 运动控制

PLC 可以用于圆周运动或直线运动的控制。从控制机构配置来说，早期直接用于开关量 I/O 模块连接位置传感器和执行机构，现在一般使用专用的运动控制模块，如可驱动步进电动机或伺服电动机的单轴或多轴位置控制模块。世界上各主要 PLC 厂家的产品几乎都有运动控制功能，广泛用于各种机床、机器人、电梯等场合，如图 1-3 所示。

4. 数据处理

现代 PLC 具有数学运算、数据传送、数据转换、排序、查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析及处理。这些数据可以与存储在存储器中的参考值比较，完成一定的控制操作，也可以利用通信功能传送到别的智能装置，或将它们打印制表。数据处理一般用于大型控制系统，如无人控制的柔性制造系统；也可用于过程控制系统，如造纸、冶金、食品工业中的一些大型控制系统。

5. 通信联网

PLC 通信包含 PLC 间的通信及 PLC 与其他智能设备间的通信，如图 1-4 所示。随着计算机控制的发展，工厂自动化网络发展得很快，各 PLC 厂商都十分重视 PLC 的通信功能，纷纷推出各自的网络系统。最新生产的 PLC 都基本具有以太网接口，通信非常方便。

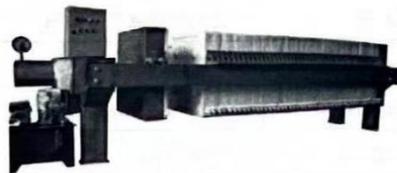


图 1-1 PLC 在离散行业自动化中的应用



图 1-2 PLC 在过程控制工业中的应用



图 1-3 PLC 在运动控制中的应用



图 1-4 PLC 在通信联网中的应用

二、PLC 的组成与工作原理

PLC 型号品种繁多，但实质上是一种工业控制计算机。学习 PLC 编程时无须深入细致了解其内部结构，PLC 大致由图 1-5 所示的几部分组成。

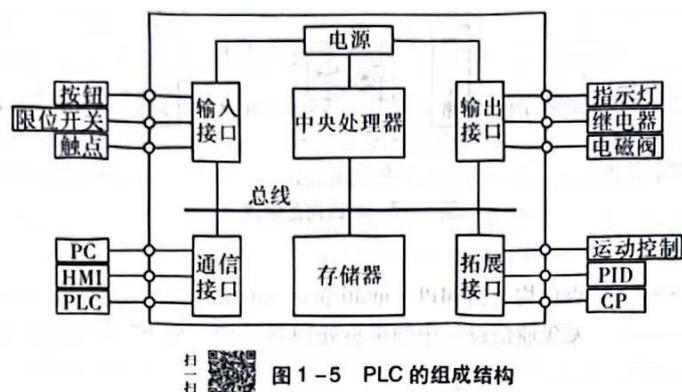


图 1-5 PLC 的组成结构

（一）PLC 的基本组成

由图 1-5 可以看出，PLC 内部主要由中央处理器（CPU）、存储器、输入接口、输出接口、通信接口和拓展接口等组成。

1. 中央处理器

中央处理器由控制器、运算器和寄存器组成，这些电路都集成在一个芯片内。CPU 通过数据总线、地址总线和控制总线，与存储单元，输入、输出接口电路相连接。与一般计算机一样，CPU 是 PLC 的核心，它按 PLC 中系统程序赋予的功能指挥 PLC 有条不紊地进行工作。用户程序和数据事先存入存储器中，当 PLC 处于运行方式时，CPU 按循环扫描方式执行用户程序。

2. 存储器

存储器用于存放信息用编程序及监控运行程序、用户程序、逻辑及数学运算的过程变量及其他所有信息。

3. 输入接口

输入接口用来进行输入信号的隔离滤波及电平转换；输入单元接口是 PLC 获取控制现场信号的输入通道。输入接口电路由滤波电路、光电隔离电路和输入内部电路组成，如图 1-6 所示。

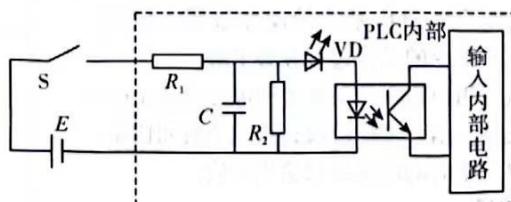
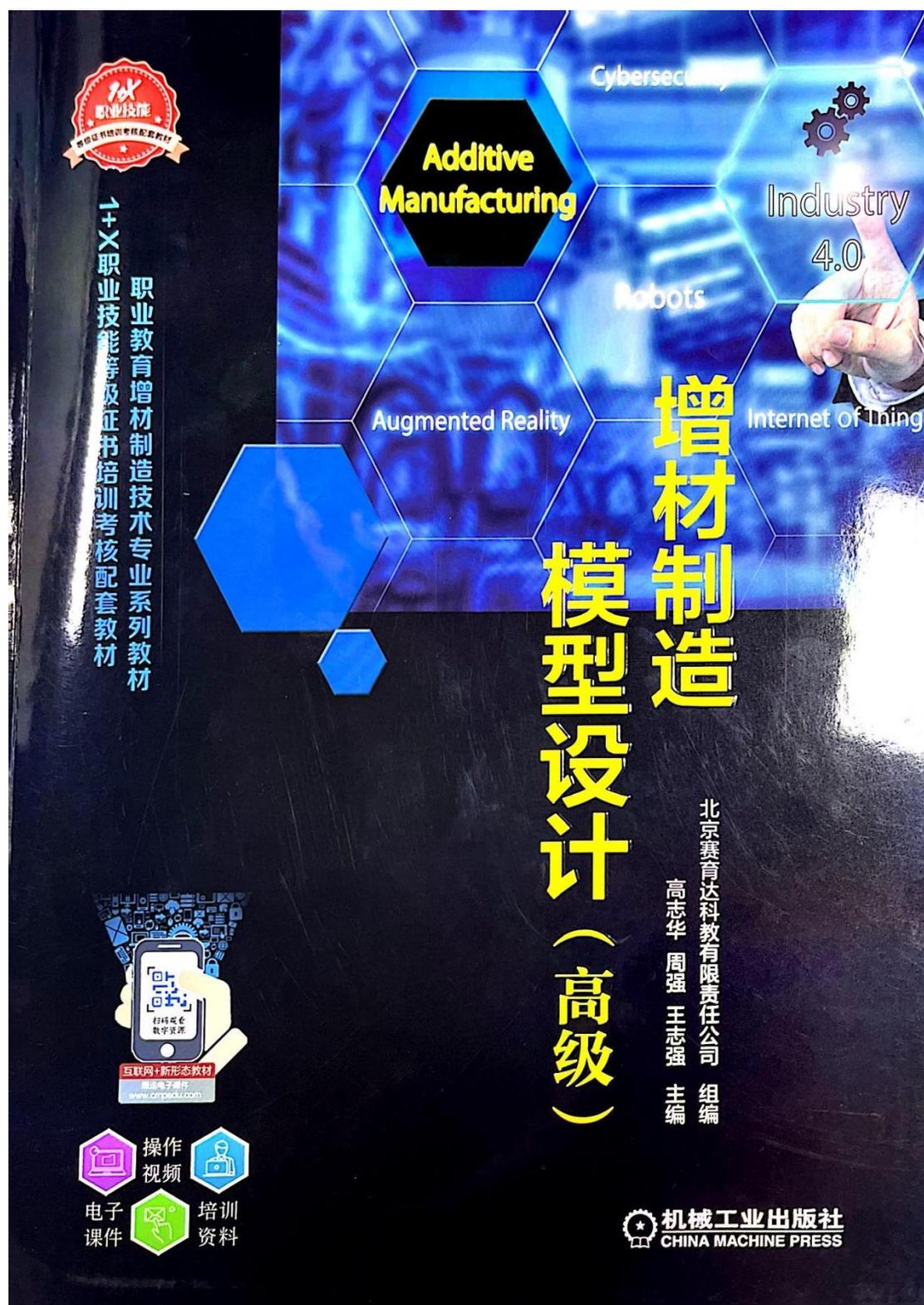


图 1-6 输入内部电路

4. 输出接口

输出接口用来对 PLC 的输出进行放大及电平转换，驱动控制对象。输出接口电路由输出锁存器、电平转换电路及输出功率放大电路组成。PLC 功率输出电路有继电器输出、晶体管输出和晶闸管输出三种形式，如图 1-7 所示。

8.2 1+X 教材培训教材：增材制造模型设计



1+X 职业技能等级证书培训考核配套教材
职业教育增材制造技术专业系列教材

增材制造模型设计（高级）

北京赛育达科教有限责任公司 组 编
主 编 高志华 周 强 王志强
副主编 刘 琼 门正兴 章 青 耿东川
陈玲芝 陆军华
参 编 吕紫微 潘 露 刘欣宁 张玉华
王 璇 余敏霞 申军伟 白 丽
陈 飞 李文超 肖方敏 苏凯元
徐东旭 李晓明 李大荣 冯 硕

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是1+X增材制造模型设计职业技能等级证书标准的课证融通教材,内容对应增材制造模型设计高级证书的设计部分。书中从增材制造模型设计应用能力要求出发,依据产品开发流程设计任务,主要包括产品结构设计概述、三维逆向数据采集与处理、三维逆向模型重构、产品结构优化设计、三维模型可视化、三维数字化检测等,旨在培养学生完成增材制造模型结构设计、数据采集与处理、逆向设计、模型可视化与数字化检测等工作任务的能力。

本书采用“校企合作”模式,同时运用了“互联网+”形式,书中选取了典型案例和全国职业院校技能大赛最新赛题,为重要知识点设置了二维码,数字化资源丰富,并融入了职业素养内容,具有鲜明的实用性、职业性与实践性,使学生可在较短的时间内获得增材制造模型设计高级证书设计部分的应用能力。

本书可供职业院校机械、机电、模具、汽车等相关专业开展书证融通、进行模块化教学及考核评价使用,也可供从事材料成形及控制工程、模具设计与制造等领域工作的工程技术人员参考。

为便于教学,本书配套有电子课件、微课视频、习题库等教学资源,凡选用本书作为授课教材的教师可登录www.cmpedu.com注册后免费下载。

机械工业出版社
北京 2022.9
ISBN 978-7-111-71345-6
定价: 49.00元

图书在版编目(CIP)数据

增材制造模型设计:高级/高志华,周强,王志强主编. —北京:
机械工业出版社, 2022.9
1+X职业技能等级证书培训考核配套教材
ISBN 978-7-111-71345-6

I. ①增… II. ①高… ②周… ③王… III. ①快速成型技术-职
业技能-鉴定-教材 IV. ①TB4

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第138857号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:黎艳 责任编辑:黎艳
责任校对:张征 刘雅娜 封面设计:张静
责任印制:常天培
北京铭成印刷有限公司印刷
2023年1月第1版第1次印刷
210mm×285mm·14.25印张·457千字
标准书号:ISBN 978-7-111-71345-6
定价:49.00元

电话服务	网络服务
客服电话:010-88361066	机工官网:www.cmpbook.com
010-88379833	机工官博:weibo.com/cmp1952
010-68326294	金书网:www.golden-book.com
封底无防伪标均为盗版	机工教育服务网:www.cmpedu.com

目 录

前言

二维码索引

项目 1 产品结构设计概述	1
1.1 产品结构设计的概念和基本原则	1
1.2 产品结构设计的基本要求和设计准则	2
小结	6
课后练习与思考	7
素养园地	7
项目 2 三维逆向数据采集与处理	8
2.1 三维逆向数据采集	8
2.1.1 数据采集流程	8
2.1.2 遥控电动汽车数据采集(2021年全国职业院校技能大赛赛题)	16
2.1.3 直柄起子机数据采集(2020年全国职业院校技能大赛改革试点赛赛题)	18
2.2 三维数据处理	20
2.2.1 Geomagic Wrap 软件操作方法	20
2.2.2 遥控电动汽车数据处理方法	24
2.2.3 直柄起子机数据处理方法	31
小结	36
课后练习与思考	36
课后拓展	36
素养园地	37
项目 3 三维逆向模型重构	38
3.1 Geomagic Design X 软件基本操作	38
3.1.1 Geomagic Design X 软件界面介绍	38
3.1.2 Geomagic Design X 软件常用功能介绍	42
3.2 遥控电动汽车模型三维重构	44
3.2.1 遥控电动汽车模型三维重构案例说明	44
3.2.2 遥控电动汽车模型三维重构基本流程	45
3.3 直柄起子机模型三维重构	77
3.3.1 直柄起子机模型三维重构案例说明	77
3.3.2 直柄起子机模型三维重构基本流程	78
小结	95

课后练习与思考	95
课后拓展	96
素养园地	96
项目 4 产品结构优化设计	97
4.1 结构优化设计	97
4.1.1 结构优化设计的类型和软件应用	97
4.1.2 结构优化设计应用案例	100
4.2 三维仿真优化设计	104
4.2.1 有限元分析	104
4.2.2 有限元结构分析的基本步骤	104
4.2.3 产品结构优化设计流程	105
4.2.4 产品结构优化设计案例（2021 年全国大学生先进成图技术与产品信 息建模创新大赛赛题）	106
小结	112
课后练习与思考	113
课后拓展	113
素养园地	113
项目 5 三维模型可视化	114
5.1 三维模型渲染	115
5.1.1 渲染方法介绍	115
5.1.2 汽车模型渲染	140
5.2 三维模型动画制作	148
5.2.1 动画制作基本操作方法	148
5.2.2 应用【装配序列（Sequence）】制作动画的操作方法	148
小结	149
课后练习与思考	149
课后拓展	149
素养园地	149
项目 6 三维数字化检测	151
6.1 获取检测数据	152
6.1.1 检测设备硬件结构介绍	152
6.1.2 设备连接步骤与设备标定	152
6.1.3 软件功能介绍	156
6.1.4 扫描操作步骤	164
6.1.5 快速入门案例	164
6.2 数据检测方法	169
6.2.1 Geomagic Control 软件介绍	169
6.2.2 数据对比分析流程	170
6.2.3 快速入门案例	171
6.3 汽车模型检测比较分析	177

6.3.1 汽车模型检测比较分析任务书·····	178
6.3.2 扫描数据比较分析·····	179
小结·····	188
课后练习与思考·····	188
课后拓展·····	189
素养园地·····	189
项目 7 增材制造模型设计综合案例 ·····	190
7.1 摄像头支架三维正向结构设计优化 ·····	190
7.2 摄像头三维数据采集与处理 ·····	193
7.3 摄像头模型三维逆向重构 ·····	197
7.4 摄像头模型数字化检测 ·····	207
小结·····	217
课后练习与思考·····	218
素养园地·····	218
附录 增材制造模型设计职业技能标准 (设计部分) (高级) ·····	219
参考文献 ·····	220

产品结构设计概述

学习目标

➤ 知识目标：

- 1) 了解产品结构设计的基本概念和基本原则。
- 2) 掌握产品结构设计的基本要求和设计准则。

➤ 技能目标：

- 1) 能够了解产品结构设计的基本概念和基本原则。
- 2) 能够掌握产品结构设计的设计准则和方法。

➤ 素养目标：

- 1) 具有历史使命感和民族自豪感，树立明确的职业目标。
- 2) 具有专注、精益求精、一丝不苟、追求卓越的工匠精神。
- 3) 具有团队协作精神，遵守职业道德，具有良好的职业素养。
- 4) 具有爱岗敬业、争创一流、艰苦奋斗、勇于创新、淡泊名利、甘于奉献的劳模精神，具备一定的创新思维能力和知识迁移能力。

考核要求

完成本项目学习内容，能够了解产品结构设计的基本概念、原则和设计方法，能够对产品进行结构分析。

必备知识

1.1 产品结构设计的基本概念和基本原则

1. 产品设计的概念

随着科学技术的发展和物质资源的极大丰富，人们对于工业产品有了更高的要求，这也推动了工业向

自动化、智能化方向发展。在此发展趋势下,增材制造技术应运而生,为产品设计提供了更加高效和自由的设计手段,并以此更好地满足用户需求。产品设计相关企业作为将设计转化为实物的重要渠道,将增材制造、新材料、工业设计、认知心理学及其相关方法与技术进行融合,将会为未来智造时代的敏捷设计开拓新的途径。

产品设计的最终结果是以一定的结构形式表现出来的,按所设计的结构进行加工、装配,制造成最终的产品。产品实现其各项功能依赖于合理的结构设计。产品结构是机械设计的基本内容之一,也是整个产品设计过程中最复杂的工作环节之一,在产品形成过程中起着至关重要的作用。

产品结构是将抽象的原理方案具体化为某类构件或零部件,其具体内容包括对零件或部件的形状、尺寸、连接方式、连接顺序、数量等内容的确定,用以实现机械的工作要求。结构设计不是简单重复的操作性工作,而是创造性工作,巧妙的构型与组合是创造性结构设计的核心。

2. 产品结构的基本特征

(1) 创新性 创新是设计的灵魂。只有创新,才有可能得到结构新颖、性能优良、价格合理且富有竞争力的机械产品。这里的创新可以是多层次的,有功能层次的创新、原理层次的创新、结构层次的创新和设计理念的创新。

(2) 多样性 多样性主要体现在设计路径的多样化和设计结果的多样化。不同的功能定义、功能分解和工作原理等会产生完全不同的设计思路和设计方法,从而在功能载体的设计上产生完全不同的解决方案,实现产品的创新。

(3) 层次性 一方面,设计分别作用于功能层和结构层,完成由功能层向结构层映射;另一方面,在功能层和结构层中又有自身的层次关系。功能的层次性决定了结构的层次性,不同层次的功能对应不同层次的结构。

3. 产品结构的基本原则

(1) 需求原则 市场需求是产品设计的出发点,没有市场需求,就没有功能要求,也就没有产品设计要解决的问题和约束条件。开发出的产品必须具有使用价值,符合市场需求,有较大的市场潜力和乐观的市场前景。

(2) 适应原则 产品设计既要适应市场需求,也要与生产发展需求相适应,符合现有的技术条件和生产条件,能与现有的生产和推广产品的原材料、厂房、生产设备、技术人才等生产要素相适应。

(3) 经济效益原则 良好的经济效益是进行产品设计的根本动力。产品设计应与预期效益联系在一起,以最小的研发成本获得符合需要的产品方案。

(4) 生态(绿色)原则 应着眼于人与自然的生态平衡关系,在产品生产及消费过程中实现资源的充分利用,充分考虑产品的回收、再生循环和重新利用,协调地融入自然,以确保人类社会可持续发展。

(5) 材料选用原则 根据产品中的各类功能载体的结构构成,合理选择材料,尽量选择新型材料、轻型材料或用塑料代替金属,以减小产品的质量和体积,节省能源。

(6) 人性化原则 这一原则综合了产品的安全性、便利性、舒适性和鉴赏性等要求,不仅要求维护产品生产者和使用者的利益,还要求产品符合人机工程学、美学等的有关原理,以使产品安全可靠、操作方便、使用舒适宜人,为产品生产者和用户创造良好的作业与使用环境。

1.2 产品结构的基本要求 and 设计准则

1. 产品结构的基本要求

机械产品应用于各行各业,其结构设计的内容和要求也是千差万别,但都有一些共性部分。下面从三个层次来说明对机械产品结构的要求。

(1) 功能设计 满足产品主要机械功能要求,如工作原理的实现,保证工作的可靠性,工艺、材料和装配方式的选择等方面。

(2) 质量设计 兼顾各种要求和限制,提高产品的质量和性能价格比,这是现代产品工程设计的主要

特征,包括产品外形、成本、安全、环保等众多其他要求和限制因素。

(3) 优化设计和创新设计 采用结构设计变结构变参数等方法系统地构造和优化设计空间,用创造性设计思维方法和其他科学方法进行产品优化和创新。

产品质量的提高永无止境,市场竞争日趋激烈,用户需求向个性化方向发展。因此,优化设计和创新设计在现代机械设计中的作用越来越重要,它们将是未来技术产品开发的竞争焦点。所设计的产品及其机械结构能否在满足技术性能要求的前提下,采用最合理的工艺方法和流程,最经济地进行生产,即所谓结构工艺性问题,须给予极大的重视。

2. 机械结构基本设计准则

机械结构设计应满足产品的多方面要求,基本要求有功能性、可靠性、工艺性、经济性和外观造型等方面的要求。此外,还应改善机械零件的受力情况,提高其强度、刚度、精度和使用寿命。因此,机械结构设计是一项综合性的技术工作。

由于结构设计上的错误或不合理,可能会造成机械零部件失效,使机器达不到设计精度和要求,给装配和维修带来极大的不便,因此,机械结构设计过程中应考虑以下结构设计准则。

(1) 实现预期功能的设计准则 产品设计的目的是实现预定的功能要求,因此,实现预期功能的设计准则是结构设计首先需要考虑的问题。要满足功能要求,必须做到以下几点:

1) 明确功能。结构设计是根据零部件在机器中的功能及其与其他零部件的相互连接关系,确定参数尺寸和结构形状。零部件的主要功能有承受载荷、传递运动和动力,以及保持有关零件或部件之间的相对位置或运动轨迹等。设计的结构应能满足从机器整体考虑对它的功能要求。

2) 功能的合理分配。在产品设计时根据具体情况,通常有必要将任务进行合理的分配,即将一个功能分解为多个分功能。每个分功能都要有确定的结构来承担,各部分结构之间应具有合理、协调的关系,以实现总的功能。多零件承担同一功能可以减轻零件负载,延长其使用寿命。

例如,若只靠螺栓预紧产生的摩擦力来承受横向载荷,会使螺栓的尺寸过大,可增加抗剪元件,如销、套筒和键等,以分担横向载荷来解决这一问题。

3) 功能集中。为了简化机械产品的结构、降低加工成本、便于安装,在某些情况下,可由一个零件或部件承担多个功能。功能集中会使零件的形状更加复杂,因此要有度,否则反而会影响加工工艺、增加加工成本,设计时应根据具体情况而定。

(2) 满足强度要求的设计准则

1) 等强度准则。零件横截面尺寸的变化应与其内应力变化相适应,使各横截面上的强度相等。按等强度准则设计的结构,材料可以得到充分的利用,从而减轻重量、降低成本。工程中大量出现的变截面梁就是按照等强度准则来设计的,如悬臂支架(图1-1a)、阶梯轴(图1-1b)的设计等。

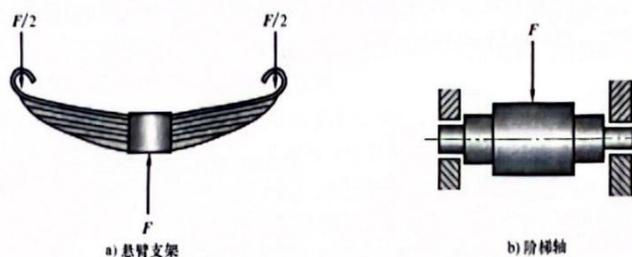


图 1-1 悬臂支架、阶梯轴的设计

2) 减少应力集中。应力集中是影响零件疲劳强度的重要因素。结构设计时,应尽量避免或减少应力集中,如增大过渡圆角、采用卸载结构等,如图1-2所示。

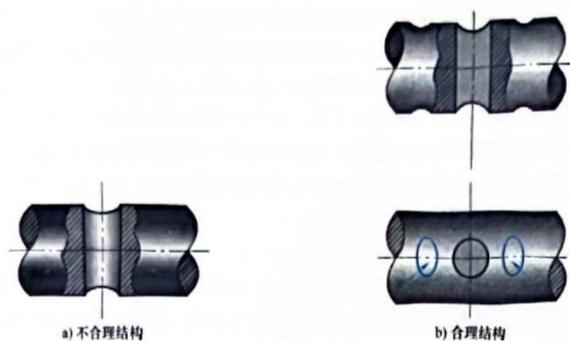


图 1-2 减少应力集中

(3) 满足结构刚度的设计准则 为保证零件在使用期限内正常地实现其功能, 必须使其具有足够的刚度。

(4) 考虑加工工艺的设计准则 机械零部件结构设计的主要目的是: 保证其功能的实现, 使产品达到要求的性能。但是, 结构设计的结果对产品零部件的生产成本及质量有着不可低估的影响。因此, 在结构设计中应力求使产品具有良好的加工工艺性。

所谓好的加工工艺, 指的是零部件的结构易于加工制造。任何一种加工方法都有可能无法制造某些结构的零部件, 或因为生产成本很高, 或因为质量受到影响。因此, 作为设计人员, 掌握加工方法的特点非常重要, 这可以保证在设计结构时尽可能地扬长避短。

生产实际中零部件的结构工艺性受到诸多因素的制约。例如: 生产批量的大小会影响坯件的生成方法, 生产设备的条件可能会限制工件的尺寸。此外, 产品造型、精度、热处理方法、成本等方面都有可能对零部件结构的工艺性有制约作用。结构设计中应充分考虑上述因素对工艺性的影响。

(5) 考虑装配的设计准则 装配是产品制造过程中的重要工序, 零部件的结构对装配的质量、成本有直接的影响。有关装配的结构设计准则简述如下。

1) 合理划分装配单元。整机应能分解成若干可单独装配的单元(部件或组件), 以实现平行且专业化的装配作业, 缩短装配周期, 并且便于逐级进行技术检验和维修。

2) 使零部件得到正确安装。

① 保证零件定位准确。图 1-3 所示的两法兰盘采用普通螺栓连接。图 1-3a 所示结构无径向定位基准, 装配时不能保证两孔的同轴度; 图 1-3b 所示结构以相配的圆柱面为定位基准, 结构合理。

② 避免双重配合。图 1-4a 所示结构中的零件 A 有两个端面与零件 B 配合, 由于存在制造误差, 不能保证零件 A 的正确位置; 图 1-4b 所示结构合理。

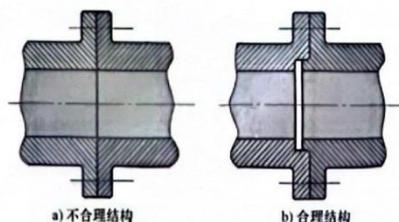


图 1-3 两法兰盘采用普通螺栓连接

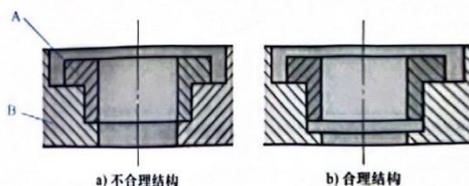


图 1-4 两零件连接

③ 防止装配错误。图 1-5 所示轴承座采用两个销定位。图 1-5a 所示结构中两个销反向布置, 与螺栓的距离相等, 装配时很可能将支座旋转 180° 安装, 导致座孔中心线与轴的中心线位置偏差增大。因此, 应将

两定位销布置在同一侧(图 1-5b), 或使两定位销与螺栓的距离不等(图 1-5c)。

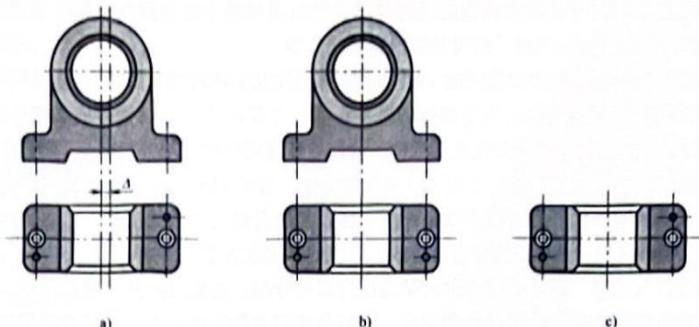


图 1-5 轴承座上销的定位

3) 使零部件便于装配和拆卸。在结构设计中, 应保证有足够的装配空间, 如扳手空间; 避免配合过长, 以免增加装配难度, 使配合面擦伤, 如阶梯轴的设计; 为便于拆卸零件, 应留出安放拆卸工具的位置, 如轴承的拆卸, 如图 1-6 所示。

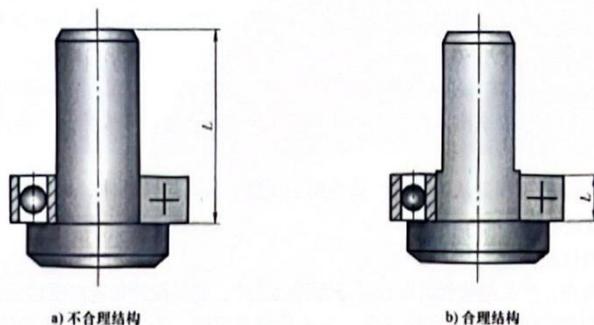


图 1-6 零部件便于装配和拆卸

(6) 考虑产品造型的设计准则 产品的设计不仅要满足功能要求, 还应考虑造型的美学价值, 使之对人产生吸引力。从心理学角度看, 人们 60% 的决定取决于第一印象。机械产品的社会属性是商品, 在买方市场的时代, 为产品设计能吸引顾客的外观也是一个重要的设计要求。

外观设计包括三个方面: 造型、颜色和表面处理。考虑外观造型时, 应注意以下三个问题:

1) 尺寸比例协调。在结构设计时, 应注意保持外形轮廓各部分尺寸之间均匀协调的比例关系, 应有意识地应用黄金分割法来确定尺寸, 使产品造型更具美感。

2) 形状简单统一。机械产品的外形通常由各种基本的几何形体(长方体、圆柱体、圆锥体等)组合而成。在结构设计时, 应使这些形体配合适当, 基本形状应在视觉上平衡, 否则接近对称又不完全对称的外形易产生倾倒的感觉; 尽量减少形状和位置的变化, 避免过分凌乱; 应有利于改善加工工艺。

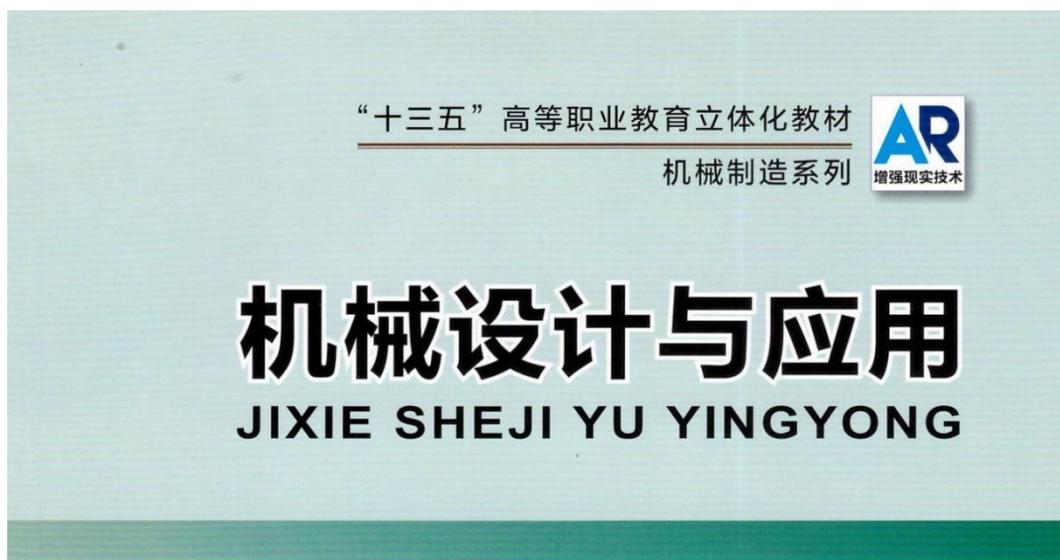
3) 色彩、图案的支持和点缀。在机械产品表面涂漆, 除具有防止腐蚀的功能外, 还可增强视觉效果。恰当的色彩可降低操作者眼睛的疲劳程度, 并能提高对设备显示信息的辨别能力。

3. 机械结构设计的工作步骤

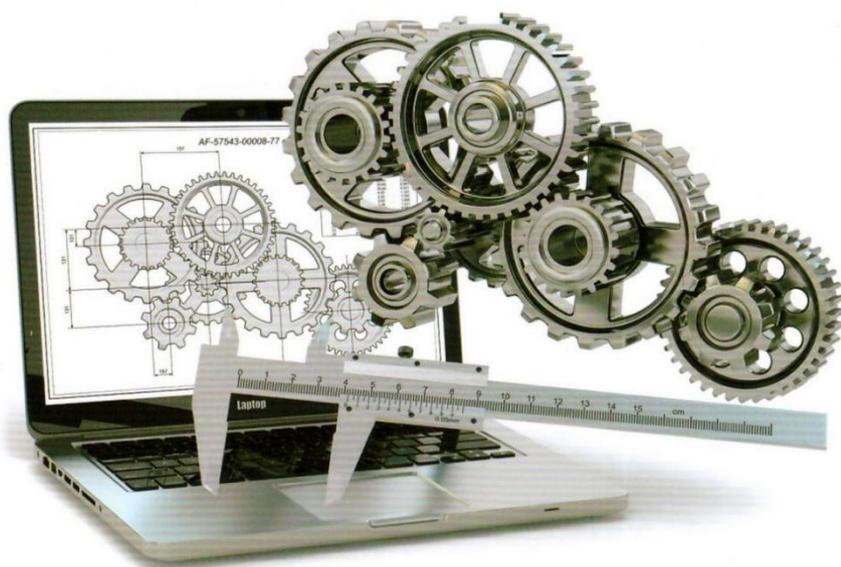
不同类型的机械结构在设计中具体情况的差别很大, 没有必要以某种步骤按部就班地进行。结构设计过程是绘图、计算、综合分析三者相结合的过程, 其步骤如下。

(1) 理清主次、统筹兼顾 明确待设计结构件的主要任务和限制因素, 将其功能分解成几个子功能。然后从实现机器主要功能(指机器中对实现能量或物料转换起关键作用的基本功能)的零部件入手, 通常

8.3 “十三五” 高职立体化教材：机械设计与应用



杨 峰 主编



中原出版传媒集团
中原传媒股份公司

河南科学技术出版社

内容提要

本书根据高职高专“机械设计与应用”课程教学基本要求编写,注重学生应用能力的培养,适用于60~90学时的三年制、五年制机械类和机电类专业使用。

本书共分为十四模块,包括机械设计概述,平面机构及自由度,平面连杆机构,凸轮机构,齿轮机构,轮系,其他常用机构,摩擦,磨损与润滑,带传动与链传动,齿轮传动,连接,轴,轴承,联轴器、离合器、制动器等内容。

本书内容由浅入深、通俗易懂,主要作为高职高专机械类、机电类专业教学用书,也可供其他有关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计与应用 / 杨峰主编. — 郑州: 河南科学技术出版社, 2019. 6

“十三五”高等职业教育立体化教材

ISBN 978-7-5349-9391-6

I. ①机… II. ①杨… III. ①机械设计-高等职业教育-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第138199号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市郑东新区祥盛街27号 邮编: 450016

电话: (0371) 65788686 65788859

网址: www.hnstp.cn

策划编辑: 徐素军

责任编辑: 樊 珊

责任校对: 朱 超

封面设计: 张 伟

责任印制: 张艳芳

印 刷: 河南文华印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 20.25 字数: 488 千字

版 次: 2019年6月第1版 2019年6月第1次印刷

定 价: 49.00元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系并调换。

“十三五”高等职业教育立体化教材
《机械设计与应用》编写人员名单

主 编 杨 峰

副主编 尚长沛 刘志刚

编 委 (按姓氏笔画排序)

方 雅 朱成俊 刘志刚

苏 静 杨 峰 尚长沛

唐 静

模块一 机械设计概述.....	(1)
1.1 课程的研究对象.....	(1)
1.2 课程的地位、学习目的及学习方法	(4)
1.3 机械零件应满足的基本要求和设计的一般步骤	(6)
1.4 机械零件的常见失效形式和设计准则	(8)
1.5 机械零件的常用材料及其选用原则	(10)
1.6 机械零件的工艺性	(12)
1.7 常用的几种现代机械设计方法	(14)
模块二 平面机构及自由度	(17)
2.1 运动副概述	(17)
2.2 平面机构运动简图	(20)
2.3 平面机构自由度计算	(24)
模块三 平面连杆机构	(35)
3.1 平面连杆机构的基本形式及其演化	(35)
3.2 平面四杆机构的基本特性	(42)
3.3 平面四杆机构的设计	(46)
模块四 凸轮机构	(54)
4.1 凸轮机构的组成、应用和分类	(54)
4.2 常用从动件运动规律	(56)
4.3 盘形凸轮轮廓线的设计方法	(60)
4.4 凸轮设计中应注意的几个问题	(64)
模块五 齿轮机构	(73)
5.1 齿轮机构的特点和类型	(73)
5.2 齿廓啮合基本定律	(75)
5.3 渐开线齿廓	(76)
5.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮	(79)
5.5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	(84)
5.6 渐开线齿轮的加工	(88)
5.7 渐开线轮齿的干涉、根切和最少齿数	(91)
5.8 渐开线变位齿轮机构	(92)
5.9 平行轴斜齿圆柱齿轮机构	(95)

5.10	锥齿轮机构	(99)
5.11	蜗杆蜗轮机构	(102)
模块六	轮系	(112)
6.1	轮系的类型及功用	(112)
6.2	定轴轮系传动比的计算	(116)
6.3	行星轮系传动比的计算	(118)
6.4	混合轮系传动比的计算	(120)
6.5	渐开线少齿差行星传动简介	(122)
模块七	其他常用机构	(128)
7.1	螺旋机构	(128)
7.2	棘轮机构	(136)
7.3	槽轮机构	(139)
模块八	摩擦、磨损与润滑	(145)
8.1	摩擦与磨损	(145)
8.2	润滑	(148)
8.3	密封装置	(154)
模块九	带传动与链传动	(160)
9.1	V带与V带轮	(160)
9.2	带传动工作情况分析	(165)
9.3	V带的失效形式和设计准则	(168)
9.4	V带传动的设计计算	(170)
9.5	V带传动的张紧、安装与维护	(176)
9.6	链传动	(178)
模块十	齿轮传动	(188)
10.1	轮齿的失效形式和设计准则	(188)
10.2	轮齿的材料及热处理	(191)
10.3	齿轮传动的精度	(193)
10.4	直齿圆柱齿轮传动的受力分析和计算载荷	(194)
10.5	直齿圆柱齿轮传动强度计算	(196)
10.6	直齿圆柱齿轮传动设计	(202)
10.7	平行轴斜齿轮传动	(204)
10.8	直齿锥齿轮传动	(208)
10.9	蜗杆传动	(212)
10.10	齿轮结构与润滑	(219)
模块十一	连接	(229)
11.1	键连接	(229)
11.2	花键连接	(234)
11.3	销连接	(235)

11.4	螺纹连接	(236)
模块十二	轴	(251)
12.1	轴的类型、要求及设计步骤	(251)
12.2	轴的材料	(253)
12.3	轴的结构设计	(254)
12.4	轴的强度计算	(259)
12.5	轴的刚度计算	(264)
模块十三	轴承	(270)
13.1	滑动轴承	(270)
13.2	滚动轴承	(278)
模块十四	联轴器、离合器、制动器	(299)
14.1	联轴器	(299)
14.2	离合器	(307)
14.3	制动器	(309)

模块一 机械设计概述

知识目标

1. 了解课程的研究对象、目的及学习方法。
2. 熟悉机械零件的工作能力、设计准则和一般设计步骤。
3. 掌握机器和机构、构件和零件的区别和联系。

技能目标

1. 能够正确区分机器和机构、构件和零件。
2. 能够正确选择机械零件的设计准则。
3. 能够正确选用机械零件材料。

机械是人类进行生产斗争的重要工具，也是社会生产力发展水平的重要标志。早在古代，人类就应用杠杆和绞盘等原始的简单机械从事建筑和运输了。

16世纪第一次工业革命期间，意大利人达·芬奇、英国人牛顿等就研究用蒸汽作为动力的机械；1690年，法国人巴本制造了一台蒸汽机；1705年，苏格兰人纽科门在前人的基础上制造了一台蒸汽机，1712年这种蒸汽机开始在英国的矿井中用于运输煤炭；英国人瓦特在此基础上用了六年的时间，对蒸汽机做了两次重大改革，才使蒸汽机奔跑于陆地；1802年，美国人富尔顿以蒸汽机为动力，制造了世界上第一艘轮船。蒸汽机的出现使19世纪欧洲产业革命形成了机械工业，并得到了迅猛发展。

我国劳动人民在机械方面也有过杰出的发明和创造。远在五千年前就使用过简单的纺织机械，在夏朝以前就发明了车子；晋朝的水碾已经应用了凸轮原理；西汉的指南车和记里鼓车已经采用了齿轮系；东汉张衡创造的候风地动仪是人类历史上第一台地震仪；杜诗发明的用水作为动力，带动水排运转，驱动风箱炼铁的连杆机械装置，成为现代机械的雏形。

为了加速现代化建设，除对现有机械设备进行全面的技术改造，挖掘设备潜力外，还应加快机械科学的研究，设计和制造出各种先进的成套设备装备各个工业部门，并且逐步实现生产过程的自动化。由于“机械设计与应用”课程是机械设计科学的基础，可以预计，在实现生产过程的自动化进程中，它将发挥越来越大的作用，同时它本身必将得到进一步的发展。

1.1 课程的研究对象

机器的种类很多。由于机器的功用不同，其工作原理、构造和性能也各异。但是，从

机器的组成原理、运动的确定性及其与功能的关系来看,各种机器之间却存在一些共同的特征。

1. 从制造角度来分析机器

从制造角度分析,可以把机器看成是由若干机械零件(简称零件)组成的。零件是指机器的制造单元。机械零件又分为通用零件和专用零件两大类;通用零件是指各种机器经常用到的零件,如螺栓、螺母、轴和齿轮等;专用零件是指某种机器才用到的零件,如内燃机曲轴、汽轮机叶片和机床主轴等。

2. 从运动角度来分析机器

从运动角度分析,可以把机器看成是由若干构件组成的。“构件”是指机器的运动单元。构件可能是一个零件,也可能是若干个零件组成的刚性组合体。

图1.1所示为内燃机的连杆总成,是由连杆体1、连杆螺栓2、螺母3和连杆头4等零件组成的构件。组成连杆的各零件之间没有相对的运动,成为平面运动的刚性组合体。

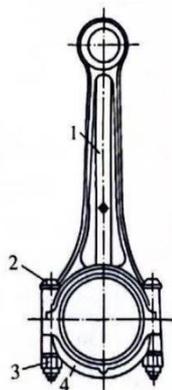


图 1.1 内燃机的连杆总成

1. 连杆体; 2. 连杆螺栓; 3. 螺母; 4. 连杆头

3. 从装配角度来分析机器

从装配角度分析,可以认为较复杂的机器是由若干部件组成的。“部件”是指机器的装配单元。例如车床就是由主轴箱、进给箱、溜板箱及尾架等部件组成的。把机器划分为若干部件,对设计、制造、运输、安装及维修会带来许多方便。

4. 从运动的确定性及功能关系来分析机器。

(1) 根据功能的不同,一部完整的机器由以下几部分组成。

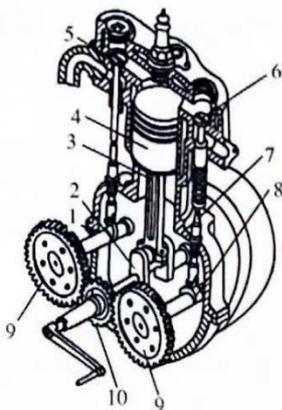
1) 原动机部分:机器的动力来源。作用是将其其他形式的能量转换成机械能,如内燃机、电动机等。

2) 工作机部分:处于整个机械传动路线的终端,是直接完成工作任务的部分。作用是利用机械能做有用的机械功。

3) 传动部分:介于原动机和工作机之间。作用是把原动机的运动和动力传递给工作机。

4) 控制部分: 控制机器的其他组成部分, 使操作者能随时实现或终止机器的各种预定功能。现代机器的控制系统, 一般包含机械控制系统, 又包含电子控制系统, 其作用包括监测及信号拾取、调节、计算机控制等。

图 1.2 所示的是单缸内燃机。工作开始时, 排气阀 6 关闭, 进气阀 5 打开, 燃气由进气管通过进气阀 5 被下行的活塞 4 吸入气缸体 1 的气缸内, 然后进气阀 5 关闭, 活塞 4 上行压缩燃气, 点火使燃气在气缸中燃烧、膨胀产生压力, 从而推动活塞 4 下行, 并通过连杆 3 使曲轴 2 转动, 这样就把燃气的热能变换为曲轴转动的机械能了。当活塞 4 再次上行时, 排气阀 6 打开, 燃烧后的废气通过排气阀 6 由排气管排出。曲轴 2 上的齿轮 10 带动两个齿轮 9, 从而带动两个凸轮轴 8 转动, 两个凸轮轴 8 再推动两个推杆 7, 使它按预定的规律打开或关闭排气阀 6 和进气阀 5。以上各机件协同配合、循环动作, 便可使内燃机连续工作。



扫一扫  图 1.2 单缸内燃机

1. 气缸体; 2. 曲轴; 3. 连杆; 4. 活塞; 5. 进气阀; 6. 排气阀; 7. 推杆; 8. 凸轮轴; 9、10. 齿轮

(2) 从上面分析可以看出, 机器具有以下三个特征:

- 1) 机器一般是由许多构件组成的。
- 2) 各构件之间具有确定的相对运动。
- 3) 机器能代替或减轻人类劳动来完成有用的机械功或转换机械能。

仅仅研究构件之间的相对运动, 而不考虑构件在做功和能量转换方面所起的作用时, 通常把具有确定的相对运动、实现运动传递或运动形式转换的多构件组合称为机构。

图 1.2 所示的单缸内燃机是通过一系列的机械运动, 把燃气的热能变换为曲轴转动的机械能, 是机器。活塞 4、连杆 3、曲轴 2 和气缸体 1 所组成的部分, 把活塞的上下移动变换为曲轴的转动, 它仅实现了运动方式的变换, 是机构; 齿轮 10、齿轮 9 和气缸体 1 所组成的部分, 把曲轴的转动传递给了凸轮, 也仅仅只实现了运动的传递, 也是机构; 凸轮轴 8、推杆 7 和气缸体 1 所组成的部分, 把凸轮轴的转动变换成了推杆的上下移动, 也只实现了运动方式的变换, 同样也是机构。在上述的机构中, 都是运动件相对于气缸体 1 运动, 气缸体 1 就是机构中的机架。进气管和排气管 (图上未完全画出) 通过螺纹连接固定

在气缸体 1 上,不是可动的装置,因此不是机构。

从结构和运动角度来看,机器和机构没有什么区别。因此,为了叙述方便,通常用“机械”一词作为“机器”和“机构”的总称。

本课着重介绍机械中常用机构和通用零件工作原理、运动特性、结构特点、基本的设计理论和计算方法,以及使用维护、标准和规范等。

1.2 课程的地位、学习目的及学习方法

1.2.1 课程的地位

本课程是工科相关专业的技术基础课,在教学计划中起着重要的承上启下的作用。它一方面是综合运用一些先修学科知识的设计性课程,另一方面又是后续专业课学习的重要基础。

1.2.2 课程的学习目的

通过本课程的学习,机械类和机电类专业的学生应达到以下基本要求:

- (1) 掌握常用机构和通用零部件的工作原理、结构特点,以及基本的设计理论和计算方法。
- (2) 具有分析、选择和设计常见机构的能力。
- (3) 具有设计在普通条件下工作的、一般参数的通用零部件的能力。
- (4) 具有运用标准、规范、手册和图册等技术资料的能力。

1.2.3 课程的学习方法

本课程是一门技术基础课,具有较强的理论性和实践性,是从理论性和系统性都很强的基础课向实践性很强的专业课过渡的转折点。在学习方法上应当注意以下几点:

1. 结合学习本课程及时复习和巩固有关先修课程的知识

先修课程是学习本课程的基础,显然,这些先修课程的学习情况将影响本课程的学习。因此,为了给学习本课程奠定坚实的基础,还应当结合学习本课程及时复习和巩固有关先修课程的相关知识。

2. 注意培养综合运用所学知识的能力

本课程是一门综合性课程,学习本课程的过程也是综合运用所学知识的过程,而综合运用所学知识解决设计问题的能力又是设计工作能力的重要标志。所以在学习本课程时应当注意培养综合运用所学知识的能力。

3. 弄清设计原理和设计公式的应用条件及公式中各量之间的相互关系

本课程的许多设计原理和设计公式都是带有条件的,设计时应弄清实际情况是否与条件相符。此外,设计计算时,通常在同一公式中要同时确定几个参数或数据,而这些参数或数据是否确定合理,又取决于对公式中各量之间的关系和对实际情况的了解程度。因此,设计计算中的主要困难不是解方程式,而是怎样才能做到结合实际情况合理地选择设

计参数或数据。所以,学习本课程时应当十分重视弄清设计原理和设计公式的应用条件及公式中各量之间的相互关系。

4. 正确处理计算和绘图的关系

设计时,有些零件的主要尺寸是由计算确定的,然后根据所得尺寸通过绘图确定其结构。但是,有些零件在确定主要尺寸之前,需要先绘出计算简图,取得某些计算所需条件后,才能确定其主要尺寸和结构;有时候还需要根据计算结果再修改设计草图。所以,设计中计算与绘图并非截然分开,而是互相依赖、互相补充和交叉进行的。

5. 正确处理继承现有设计成果与设计创新的关系

任何设计都不可能是设计者独出心裁、凭空设想出来的。设计中,必须吸取前人有益的设计经验,参考有用设计资料;因为好的经验和资料是长期实践经验积累的宝贵财富。所以,设计时吸取有益经验,使用设计资料,既能减少重复工作,加快设计进程,又能继承和发展现有设计成果,不断改进设计方法和提高设计质量。此外,任何新的设计任务,都是根据特定的设计要求提出来的,因此设计时必须密切联系实际,创造性地进行设计,不能盲目地、机械地搬用经验或抄袭资料,继承现有设计成果与设计创新这二者不可偏废,要很好地结合起来。

6. 注意单个机构、零件的设计与机器总体设计之间的联系

为了讨论方便,本课程对常用机构和通用零件是分别讨论的。但是,机器又是由若干机构、构件和零件组成的不可分割的整体,各机构、各零件与机器之间有着非常密切的联系。因此,设计机构和零件时,不仅要熟练掌握常用机构和通用零件的设计原理和方法,而且要从机器的总体设计出发,弄清它们之间的联系。例如齿轮传动时,就应当了解所设计的齿轮传动用在什么机器上,是开式传动还是闭式传动,齿轮转动是用来传递运动还是传递动力,等等。此外,还应当弄清齿轮与其他零件的联系,如齿轮与轴和轴承的联系,因为这些都将直接影响设计参数或数据的选择、齿轮的结构设计,有时还会影响设计原理和方法。

7. 正确对待设计计算结果

设计机械零件的尺寸和形状时,一般不可能单靠理论计算确定,而是需要综合考虑零件的运动性能和动力性能,强度和刚度,摩擦、磨损和润滑,振动,工作寿命、安全操作和人机联系设计,经济性、工艺性、材料选用和标准化,以及其他特殊要求等因素的影响。而上述因素对零件尺寸和结构的影响有些是无法计算的。因此,不能把机械零件设计片面理解为理论计算,或者认为理论计算的结果是不能更改的。

8. 重视培养结构设计能力

初做设计或缺乏生产实践的人,机械设计中最容易犯的毛病是结构不合理,甚至出现错误。结构不合理,将降低设计质量;结构设计错误,将造成经济损失。学习本课程时,应当多看零、部件的实物和图纸,多参观工厂,丰富结构知识和工艺知识,以便逐步提高结构设计能力。

8.4 “十四五” 职业教育国家规划教材：UG NX 产品建模与装配

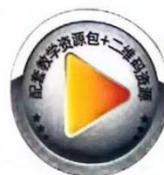


“十四五” 职业教育国家规划教材

智能制造专业群系列教材

UG NX 产品建模与装配 (第二版)

主编 董海东
主审 李云



 科学出版社



“十四五”职业教育国家规划教材

智能制造专业群系列教材

UG NX 产品建模与装配

(第二版)

主 编 董海东

副主编 贾娟娟 王仙萌 熊 毅

参 编 徐孝昌 王立涛

主 审 李 云

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据机械设计师岗位技能要求编写,目的是使具有机械设计专业知识的人员能够利用UG NX 10.0软件快速掌握机械零件的三维建模方法、装配建模方法、机构的运动分析和构件结构分析方法。本书首先介绍三维设计的概念和UG NX 10.0软件的相关知识,然后介绍草图绘制、实体和曲面建模,最后重点讲述装配建模、机构运动分析和构件结构分析。本书给出了大量来自工程实践的典型案例,通过学习和练习,读者可在熟悉UG NX 10.0软件的功能和命令的同时,迅速掌握案例的设计技巧。

为便于信息化教学的实施,本书配套立体化的教学资源包。同时,书中穿插有丰富的二维码资源链接,读者通过手机等终端扫描后可观看相关微课视频。

本书可作为高职高专、职业本科院校UG NX课程的教材,也可供CAD/CAM软件爱好者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

UG NX 产品建模与装配/董海东主编. —2版. —北京:科学出版社, 2021.10(2023.6修订)

“十四五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-03-070028-5

I. ①U… II. ①董… III. ①工业产品-产品设计-计算机辅助设计-应用软件-职业教育-教材 IV. ①TB472-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第208428号

责任编辑:张振华 / 责任校对:王万红

责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方人华平面设计部

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>

北京鑫丰华彩印有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2015年7月第一版 开本:787×1092 1/16

2021年10月第二版 印张:20 1/2

2023年12月第五次印刷 字数:470 000

定价:59.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(鑫丰华))

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135120-2005

版权所有,侵权必究

目 录

课程准备	三维设计与建模基础	1
0.1	了解三维设计	1
0.1.1	设计的飞跃——从二维到三维	1
0.1.2	三维建模的概念	3
0.1.3	三维建模的发展史和未来	7
0.1.4	如何学好三维建模技术	8
0.2	三维建模基础知识	9
0.2.1	基本概念	10
0.2.2	三维建模种类	13
0.2.3	图形交换标准	15
0.2.4	三维建模系统的组成	17
0.2.5	CAD/CAM/CAE 软件分类	18
0.2.6	常用 CAD/CAM/CAE 软件简介	18
0.2.7	如何选用合适的软件	20
0.3	认识 UG NX 软件	21
0.3.1	UG NX 软件简介	21
0.3.2	UG NX 软件的发展历史	21
0.3.3	UG NX 软件的技术特点	23
0.3.4	UG NX 软件的常用功能模块	23
0.3.5	UG NX 软件的工作流程	25
0.3.6	基于 UG NX 软件的产品设计流程	25
	思考与练习	26
项目	草图绘制	27
1.1	创建草图的基本知识与步骤	28
1.1.1	草图与特征、图层	28
1.1.2	草图功能与参数设置	29
1.1.3	创建草图的一般步骤	30
1.2	草图常用命令介绍	31
1.2.1	创建草图	31
1.2.2	内部草图与外部草图	32
1.2.3	创建草图对象	33
1.2.4	约束草图	34
1.2.5	草图操作	41
1.2.6	草图管理	42
1.3	入门实例	43
1.4	实践操作：端盖草图的绘制	47
1.5	实践操作：垫片零件草图的绘制	50
1.6	实践操作：吊钩零件草图的绘制	53



思考与练习	54
项目 2 实体建模	55
2.1 实体建模的特征分类、特征工具及建模流程	57
2.1.1 基本术语	57
2.1.2 UG NX 特征的分类	58
2.1.3 UG NX 实体特征工具	58
2.1.4 建模流程	59
2.2 实体建模常用命令介绍	59
2.2.1 布尔操作	59
2.2.2 扫掠特征	62
2.2.3 成型特征	66
2.2.4 特征操作	75
2.2.5 编辑特征	86
2.2.6 同步建模	89
2.3 实践操作: 连接件实体建模	92
2.4 实践操作: 接管零件实体建模	96
2.5 实践操作: 支架零件实体建模	99
思考与练习	102
项目 3 曲面建模	104
3.1 曲面建模基本原理、概念和基本原则	105
3.1.1 曲面生成的基本原理	105
3.1.2 曲面建模基本概念	113
3.1.3 曲面构建方法	114
3.1.4 基本原则与技巧	115
3.2 曲面建模常用命令	115
3.2.1 由点构建曲面	115
3.2.2 由线构建曲面	118
3.2.3 基于已有曲面构成新曲面	130
3.2.4 编辑曲面	137
3.2.5 曲面分析	140
3.3 实践操作: 小家电外壳建模	148
3.4 实践操作: 手机外壳底板曲面建模	155
思考与练习	161
项目 4 装配	163
4.1 装配功能概述	164
4.1.1 装配模块调用	164
4.1.2 装配术语	165
4.1.3 装配中部件的不同状态	166
4.1.4 装配的一般思路	167

4.2 装配常用命令介绍	167
4.2.1 装配常用命令概述	167
4.2.2 装配导航器的设置	168
4.2.3 从底向上装配	170
4.2.4 引用集	181
4.2.5 组件的删除、隐藏与抑制	184
4.2.6 自顶向下装配	184
4.2.7 部件间建模	186
4.2.8 爆炸图	189
4.3 实践操作：脚轮装配	192
4.4 实践操作：减速器装配	196
4.4.1 低速轴装配	196
4.4.2 高速轴装配	199
4.4.3 减速器总装配	201
4.5 实践操作：管钳装配	202
4.6 实践操作：齿轮泵装配	207
4.7 实践操作：化工储罐的建模与装配	211
4.7.1 储罐零件的建模	211
4.7.2 化工储罐的装配	212
思考与练习	213
项目 5 工程制图	215
5.1 工程制图概述	216
5.1.1 制图模块的调用方法	216
5.1.2 UG NX 出图的一般流程	217
5.2 工程制图常用命令介绍	217
5.2.1 工程图纸的创建与编辑	217
5.2.2 视图创建	220
5.2.3 视图编辑	232
5.2.4 尺寸标注	240
5.2.5 参数预设置	242
5.2.6 数据转换	246
5.3 实践操作：三维法兰轴模型工程制图	247
5.4 实践操作：三维虎钳模型工程制图	257
思考与练习	261
项目 6 基于 UG NX 的运动与结构分析	263
6.1 UG NX 的 CAE 功能简介	263
6.1.1 有限元法的基本思想	264
6.1.2 有限元法的基本方法	266
6.1.3 UG NX CAE 分析的特点	268
6.2 UG NX 运动分析实例	269
6.2.1 运动仿真模型准备	270
6.2.2 进入仿真模块	270



6.2.3	设置连杆和运动副	271
6.2.4	定义解算方案并求解	273
6.2.5	求解结果分析	274
6.3	UG NX 有限元分析实例	276
6.3.1	有限元模型的建立	277
6.3.2	求解	282
6.3.3	后处理	282
	思考与练习	284
项目 7 模具设计		285
7.1	UG 模具设计准备工作	285
7.1.1	项目初始化	285
7.1.2	模具设计验证	286
7.1.3	模具 CSYS 的设定	288
7.1.4	工件的创建	290
7.1.5	型腔布局	290
7.1.6	多腔模设计	292
7.2	Mold Wizard 的注塑模工具	298
7.2.1	实体修补工具	298
7.2.2	曲面修补工具	301
7.3	模具分型	307
7.3.1	检查区域	307
7.3.2	定义区域	308
7.3.3	设计分型面	310
7.3.4	定义型腔和型芯	314
	思考与练习	316
参考文献		317

课程准备 三维设计与建模基础

学习目标

- 了解三维建模技术的发展历程。
- 了解三维建模的种类（线框造型、曲面造型、实体造型等）。
- 理解曲面造型原理和曲面造型功能。
- 了解图形交换标准。
- 了解常用 CAD/CAM/CAE 软件。
- 了解 UG NX 软件的发展史。
- 了解 UG NX 软件的技术特点。
- 了解 UG NX 软件的常用功能模块。
- 了解 UG NX 软件的设计流程。

思政目标

- 树立正确的学习观，坚定技能报国的信念。
- 培养职业认同感、责任感，自觉践行行业道德规范。

0.1 了解三维设计

随着计算机技术和三维建模软件的不断发展，三维建模技术被广泛应用于现代产品设计中，成为产品设计必不可少的内容之一。因此，掌握三维建模技术成为工程技术人员必须具备的基本技能之一。

0.1.1 设计的飞跃——从二维到三维

二维图像是指不包含深度信息的平面图像。二维图像只有左、右、上、下 4 个方向，不存在前、后方向。一张纸上的图形可以被看成是二维图像，即只有面积，没有体积。实际上，在设计产品时，设计者需要分别从上面、左面、正面 3 个不同的角度观察同一个空间的几何体，若将视线规定为平行投影线，然后正对着物体看过去，将所见物体的轮廓用正投影法在 X-Y、Y-Z、X-Z 面上绘制出来的图形称为三视图，即主视图（正视图）、左视图（侧视图）、俯视图的总称。其中，反映产品形状的轴测图（正等轴测图、斜二轴测图），也是通过某个视点、方向投影以二维平面图像的形式展现的，如图 0-1-1 所示。

二维制图技术的优点是可以直观而有效地将零件的尺寸、几何公差、粗糙度要求、热处理要求和其他技术要求都集中表达在一张图样中，工艺工程师和操作者可以根据一张图样很轻松地了解该零件的所有加工要求和信息，并以最快的速度完成加工过程；缺



点是设计者必须按照二维制图原理和制图规则设计产品,设计图样和读图样的人都必须通过空间想象才能在脑海中重构物体的三维空间结构,比较抽象。

三维图像是利用两眼的视觉差别和光学折射原理,在一个平面内使人可以直接看到的一幅三维立体图。图像中的事物既可以凸出于画面之外,也可以深藏其中,活灵活现,给人以很强的视觉冲击。三维图像与二维图像有着本质的区别:二维图像反映了物体上下、左右的二维关系,人们看到的二维图像也有立体感,它主要是运用光影、虚实、明暗对比来体现的;而高质量的三维立体图像是模拟人眼看世界的原理,利用光学折射原理制作出来的,可以使眼睛看到物体的上下、左右、前后的三维关系。目前,设计产品的三维图像主要利用三维建模软件在计算机上实现,此项技术称作三维建模技术。我们比较熟悉的三维建模软件包括 Pro/Engineer (Pro/E)、UG NX、SolidWorks、CATIA 等。利用这些软件,可以通过三维模型来表现物体的三维空间结构,比较直观,如图 0-1-2 所示。

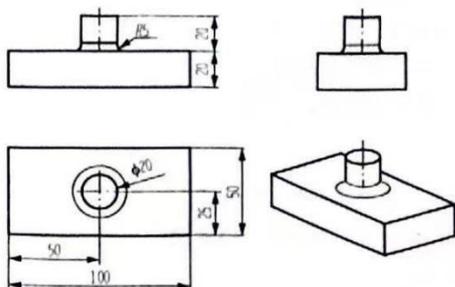


图 0-1-1

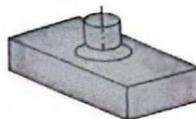


图 0-1-2

三维建模技术中的曲面设计、外观造型参数化驱动等特性在很大程度上改变了设计人员的设计习惯和思维,使设计产品过程与最终成品紧密相连,不仅极大地提高了设计人员的设计速度,也提升了产品设计的质量,同时三维建模软件所包含的装配模拟、干涉检测、质量计算、运动仿真及结构分析等应用,也极大地保障了设计的完整性和一致性。其缺点是无法提供有效而全面的零件加工信息,如零件的几何公差、粗糙度、热处理要求等。

而今,计算机性能大幅提高,CPU (central processing unit, 中央处理器) 的运算速度、内存和硬盘的容量、显卡技术等硬件条件足以支撑三维建模软件的硬件要求,而三维建模软件也日益实用化,因此三维建模技术在人类生活的各个领域发挥着越来越重要的作用,不断推动 CAD/CAM/CAE (computer aided design/computer aided manufacturing/computer aided engineering, 计算机辅助设计/计算机辅助制造/计算机辅助工程) 的蓬勃发展,使数字化设计、分析、虚拟制造成为现实,极大地缩短了产品设计制造周期。

目前,二维制图技术和三维建模技术在产品设计时都被使用,只是侧重的领域和行业有所不同。未来,三维建模技术必将克服其弱点,逐步完善。

提示

由于基于二维制图技术的产品设计、制造流程已沿用多年，数字化加工目前还不能完全取代传统的加工方式，因此，二维制图及计算机二维绘图技术现在还不能完全退出企业的产品设计与制造环节，但是只要建立了产品的三维数字模型，生成产品的二维图是一件非常容易的事情。

0.1.2 三维建模的概念

什么是三维建模呢？

设想这样一个画面：父亲在炉火前拥着孩子，左一刀、右一刀地切削一块木块；在孩子入迷的眼神中，木块逐渐成为一把精致的木手枪或弹弓。木手枪或弹弓形成的过程，就是直观的三维建模过程。三维建模在现实中非常常见，如孩子们堆沙丘城堡、搭积木是三维建模的过程；雕刻、制作陶瓷艺术品等也是三维建模的过程。三维建模可以概括为人脑中的物体形貌在真实空间再现的过程。

广义地讲，所有产品制造的过程，无论是手工制作还是机器加工，都是将人脑中想象的产品转化为真实产品的过程，都可称为产品的三维建模。

计算机在不到 100 年的发展时间里，几乎彻底改变了人类的生产、生活方式，人脑中想象的物体，大多数能通过计算机来实现。本书所说的三维建模，是指在计算机上建立完整的产品三维数字几何模型的过程，与广义的三维建模概念有所不同。

在三维模型的基础上，人们可以进行许多工作，如 CAD/CAM/CAE 分析等。

虽然三维模型显示在平面显示器上，与真实世界中的可以触摸的三维物体有所不同，但是三维模型具有完整的三维几何信息，还可以有材料、颜色、纹理等其他非几何信息。人们可以通过旋转模型来模拟现实世界中观察物体时不同的视角，通过放大/缩小模型来模拟现实世界中观察物体时距离的远近，仿佛物体就位于自己眼前一样。除了不可触摸，三维模型与现实世界中的物体没有什么不同。

三维建模必须借助软件来完成，这些软件称为三维建模系统。三维建模系统提供在计算机上完成三维模型的环境和工具，而三维建模是 CAX 系统的基础和核心。CAX 系统包括 CAD、CAM、CAPP（computer aided process planning，计算机辅助工艺规划）、CAE 等计算机辅助技术。因此 CAX 系统必须包含三维建模系统，三维建模系统也因此被广泛应用于大多数的工业设计与制造领域。

本书以 UG NX 为例，介绍三维建模技术的基本原理、建模的基本思路和方法。其他 CAX 系统虽然在功能、操作方式等方面不完全相同，但基本原理类似。

三维建模系统的主要功能是提供三维建模的环境和工具，帮助人们建立物体的三维数字模型，即用计算机来表示、控制、分析和输出三维形体，实现形体表示上的几何完整性，使所设计的对象生成具有真实感的图形和动态图形，并能进行物性（面积、体积、惯性矩、强度、刚度、振动等）计算、颜色和纹理仿真及切削与装配过程的模拟等。其具体功能包括以下几个方面。



- 1) 形体输入: 在计算机上构造三维形体的过程。
- 2) 形体控制: 如对形体进行平移、缩放、旋转等变换。
- 3) 信息查询: 如查询形体的几何参数、物理参数等。
- 4) 形体分析: 如容差分析、物质特性分析、干涉量的检测等。
- 5) 形体修改: 对形体的局部或整体进行修改。
- 6) 显示输出: 如消除形体的隐藏线、隐藏面, 显示或改变形体的明暗度、颜色等。
- 7) 数据管理: 三维图形数据的存储和管理。

1. 三维建模——CAX 系统的基石

在 CAX 系统中, CAD 技术是实现 CAM、CAPP、CAE 等技术的先决条件, 而 CAD 技术的核心和基础是三维建模技术。

下面以模制产品的开发流程为例, 来考察 CAX 技术的应用背景及三维建模技术在其中的地位。通常, 模制产品的开发分为 4 个阶段, 如图 0-1-3 所示。

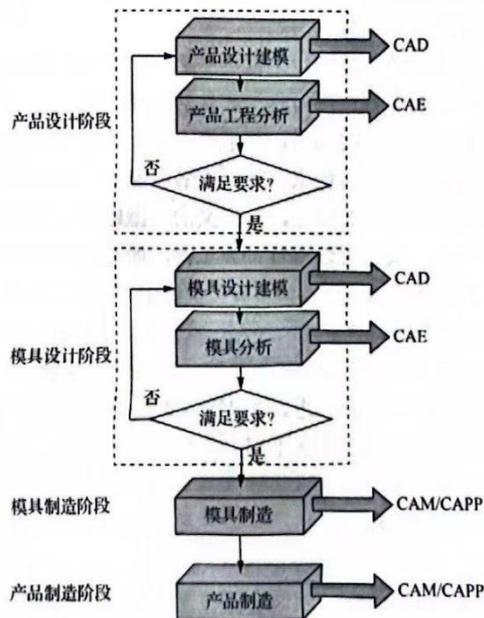


图 0-1-3

(1) 产品设计阶段

建模的过程实际上就是产品设计的过程, 这个过程属于 CAD 技术。设计与分析是一个交互过程, 设计好的产品需要进行工程分析 (CAE), 如强度分析、刚度分析、机构运动分析、热力学分析等, 分析结果再反馈到设计阶段 (CAD), 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。

(2) 模具设计阶段

模具设计阶段是指根据产品模型,设计相应的模具,如凸模、凹模及其他附属结构,建立模具的三维模型。这个过程也属于 CAD 技术。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,对于塑料制品,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的模具返修甚至报废。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,才能确定模具的三维模型。

(3) 模具制造阶段

由于模具是用来制造产品的模板,其质量直接决定了最终产品的质量,所以通常采用数控加工方式,这个过程属于 CAM 技术。模具制造过程与工艺有关,需要借助 CAPP 技术。

(4) 产品制造阶段

产品制造阶段是根据开发好的模具生产批量产品的生产阶段,可能会用到 CAM/CAPP 技术。

可以看出,模制产品的开发过程贯穿了 CAD、CAM、CAE、CAPP 等技术;而这些技术都必须以三维建模为基础。例如,要设计生产图 0-1-4 和图 0-1-5 所示的产品,必须先建立其三维模型。没有三维建模技术的支持,其他就无从谈起。



图 0-1-4



图 0-1-5

产品和模具的 CAE 技术,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 0-1-6 和图 0-1-7 所示。



图 0-1-6



图 0-1-7

对于 CAM 技术,同样需要在模具三维模型的基础上,进行 NC (numerical control, 数控) 编程与仿真加工。图 0-1-8 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 0-1-9 显示了模具加工仿真的情况。可以看出, CAM 技术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。