



高等学校“十二五”重点规划教材  
机械工程系列丛书

# 机械设计

主编 李振钢



HEUP 哈尔滨工程大学出版社

## 内 容 简 介

本书是作者在长期教学与学术研究的基础上,考虑市场经济发展对机械设计人才的需求,认真吸取其他高等学校机械类专业机械设计课程近年教学改革的经验,参考了许多最新资料精心编写的。全书分14章。每一章给出了本章的教学目标、知识要点,并通过导入案例引出本章教学内容,编写过程中加强了课程内容在逻辑和结构上的联系和综合。本书突出创新能力和创新思维的培养,形成一个以培养学生工程实践能力和创新能力为目标的机械设计课程体系。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械设计/李振钢主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2013.8  
煤矿机械毕业设计系列教材  
ISBN 978-7-5661-0654-4

I. ①机… II. ①李… III. ①机械设计-高等学校-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 196691 号

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号  
邮政编码 150001  
发行电话 0451-82519328  
传 真 0451-82519699  
经 销 新华书店  
印 刷 黑龙江省委党校印刷厂  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 20.75  
字 数 520 千字  
版 次 2013 年 8 月第 1 版  
印 次 2013 年 8 月第 1 次印刷  
定 价 40.00 元  
<http://www.hrbeupress.com>  
E-mail: [heupress@hrbeu.edu.cn](mailto:heupress@hrbeu.edu.cn)

---

# 前 言

机械设计课程是机械工程类诸专业的主干课程之一,是培养学生机械设计能力的重要技术基础课。通过本课程的学习,可使学生了解、掌握系统的机械设计理论和方法,并具有综合运用有关课程、标准和规范等知识,进行机械设计的初步能力。通过本课程的学习,将为进一步学习有关专业课和今后从事机械设计工作,直接服务于社会奠定良好的基础。

本书是在满足高等学校机械类专业机械设计课程教学基本要求的前提下,以培养“创新型应用人才”思想为指导,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度基础知识与理论体系覆盖下,着重讲解应用型人才培养所需的内容和关键点,在编写过程中融入了最新的实例及操作性较强的案例,并对实例进行有效的分析,以工程应用实例来导出全章的知识点。

本书是作者在长期教学与学术研究的基础上,考虑到市场经济发展对机械设计人才的要求,认真吸取其他高等学校机械类专业机械设计课程近年教学改革的经验,参考了许多最新资料,精心组织教学内容编写的。编写过程中以培养学生工程实践能力、综合机械设计能力和创新能力为核心,加强了课程内容在逻辑和结构上的联系和综合。本书突出创新能力和创新思维的培养,形成一个以培养学生工程实践能力和创新能力为目标的机械设计课程体系。

本书由李振钢担任主编,李荣、陈国辉担任副主编。参加编写的有:黑龙江科技大学李振钢(第1,2,3,4,5,6,10章),黑龙江工程学院李荣(第11,12章),黑龙江科技大学陈国辉(第7,8,9章),黑龙江科技大学陈金国(第13,14章)。本书由李振钢负责统稿,由黑龙江科技大学的宋胜伟担任主审。本书在编写过程中,参考或引用了一些专家学者的论著,在此表示感谢!

本书可作为高等学校机械类及近机类各专业的教材,也可供相关专业师生和工程技术人员参考使用。

由于编者水平有限,书中难免会有一些疏漏不足之处,恳请同行专家和读者指正。

编 者  
2013年6月

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第1章 绪论 .....                | 1  |
| 1.1 机械工业在现代化建设中的地位与作用 ..... | 1  |
| 1.2 本课程的研究对象及研究内容 .....     | 2  |
| 1.3 本课程的性质和任务 .....         | 3  |
| 1.4 学习本课程应注意的问题 .....       | 4  |
| 本章小结 .....                  | 5  |
| 第2章 机械设计概论 .....            | 6  |
| 2.1 机械设计与机械零件设计的基本要求 .....  | 6  |
| 2.2 机械设计的一般程序 .....         | 8  |
| 2.3 机械零件的主要失效形式与设计准则 .....  | 10 |
| 2.4 机械零件的设计方法与基本原则 .....    | 12 |
| 本章小结 .....                  | 16 |
| 习题 .....                    | 16 |
| 第3章 机械零件设计中的强度与耐磨性 .....    | 17 |
| 3.1 机械零件的载荷与应力 .....        | 18 |
| 3.2 静应力时机械零件的强度计算 .....     | 19 |
| 3.3 机械零件的疲劳强度 .....         | 20 |
| 3.4 机械零件的接触强度 .....         | 27 |
| 3.5 摩擦、磨损与润滑概述 .....        | 28 |
| 本章小结 .....                  | 34 |
| 习题 .....                    | 34 |
| 第4章 螺纹连接与螺旋传动 .....         | 36 |
| 4.1 概述 .....                | 37 |
| 4.2 螺纹连接 .....              | 38 |
| 4.3 螺旋传动 .....              | 63 |
| 本章小结 .....                  | 69 |
| 习题 .....                    | 70 |
| 第5章 键连接、销连接及无键连接 .....      | 72 |
| 5.1 键连接 .....               | 72 |
| 5.2 花键连接 .....              | 78 |
| 5.3 销连接 .....               | 80 |
| 5.4 无键连接 .....              | 82 |
| 本章小结 .....                  | 85 |
| 习题 .....                    | 85 |
| 第6章 带传动 .....               | 86 |
| 6.1 带传动的类型、特点及应用 .....      | 87 |
| 6.2 普通V带和带轮的结构 .....        | 89 |
| 6.3 带传动工作情况分析 .....         | 93 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 6.4 普通 V 带传动的设计 .....            | 97  |
| 6.5 带传动的张紧、安装与维护 .....           | 103 |
| 本章小结 .....                       | 104 |
| 习题 .....                         | 104 |
| <b>第 7 章 链传动</b> .....           | 106 |
| 7.1 链传动的类型、特点及应用 .....           | 107 |
| 7.2 滚子链及链轮 .....                 | 108 |
| 7.3 链传动的运动特性 .....               | 112 |
| 7.4 滚子链传动的失效形式及功率曲线 .....        | 115 |
| 7.5 滚子链传动的设计计算 .....             | 117 |
| 7.6 链传动的布置、张紧与润滑 .....           | 119 |
| 本章小结 .....                       | 122 |
| 习题 .....                         | 122 |
| <b>第 8 章 齿轮传动</b> .....          | 123 |
| 8.1 概述 .....                     | 124 |
| 8.2 齿轮传动的失效形式及设计准则 .....         | 125 |
| 8.3 齿轮材料的选择及其许用应力 .....          | 128 |
| 8.4 齿轮传动的计算载荷 .....              | 135 |
| 8.5 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算 .....        | 140 |
| 8.6 齿轮传动的设计参数与精度选择 .....         | 145 |
| 8.7 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算 .....        | 151 |
| 8.8 标准直齿锥齿轮传动的强度计算 .....         | 159 |
| 8.9 齿轮的结构设计 .....                | 162 |
| 8.10 齿轮传动的润滑 .....               | 164 |
| 本章小结 .....                       | 165 |
| 习题 .....                         | 165 |
| <b>第 9 章 蜗杆传动</b> .....          | 168 |
| 9.1 蜗杆传动的类型、特点及应用 .....          | 169 |
| 9.2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算 .....   | 171 |
| 9.3 蜗杆传动的失效形式、设计准则、材料和结构 .....   | 176 |
| 9.4 蜗杆传动的强度计算 .....              | 178 |
| 9.5 蜗杆传动相对滑动速度、效率、润滑和热平衡计算 ..... | 182 |
| 本章小结 .....                       | 187 |
| 习题 .....                         | 187 |
| <b>第 10 章 轴</b> .....            | 189 |
| 10.1 概述 .....                    | 190 |
| 10.2 轴的结构设计 .....                | 192 |
| 10.3 轴的强度计算 .....                | 196 |
| 10.4 轴的刚度计算简介 .....              | 199 |
| 本章小结 .....                       | 203 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 习题 .....                        | 203 |
| <b>第 11 章 滑动轴承</b> .....        | 205 |
| 11.1 概述 .....                   | 205 |
| 11.2 滑动轴承的分类、结构形式及材料 .....      | 207 |
| 11.3 非液体摩擦滑动轴承的设计计算 .....       | 221 |
| 11.4 液体动力润滑径向滑动轴承的设计计算 .....    | 223 |
| 本章小结 .....                      | 234 |
| 习题 .....                        | 234 |
| <b>第 12 章 滚动轴承</b> .....        | 237 |
| 12.1 概述 .....                   | 238 |
| 12.2 滚动轴承的组成及基本结构 .....         | 240 |
| 12.3 滚动轴承的类型和代号 .....           | 241 |
| 12.4 滚动轴承的工作情况 .....            | 254 |
| 12.5 滚动轴承的寿命计算 .....            | 257 |
| 12.6 滚动轴承的静强度计算 .....           | 264 |
| 12.7 滚动轴承的极限转速 .....            | 265 |
| 12.8 滚动轴承的组合设计 .....            | 266 |
| 本章小结 .....                      | 275 |
| 习题 .....                        | 275 |
| <b>第 13 章 联轴器、离合器及制动器</b> ..... | 280 |
| 13.1 联轴器的类型、特点和选择 .....         | 281 |
| 13.2 离合器的类型、特点和选择 .....         | 294 |
| 13.3 制动器的类型及特点 .....            | 300 |
| 本章小结 .....                      | 301 |
| 习题 .....                        | 301 |
| <b>第 14 章 弹簧</b> .....          | 302 |
| 14.1 概述 .....                   | 303 |
| 14.2 弹簧材料和制造 .....              | 304 |
| 14.3 弹簧的工作原理 .....              | 306 |
| 14.4 圆柱螺旋弹簧的结构与设计 .....         | 308 |
| 14.5 其他弹簧简介 .....               | 317 |
| 本章小结 .....                      | 322 |
| 习题 .....                        | 322 |
| <b>参考文献</b> .....               | 324 |

# 第1章 绪 论

## 【教学目标】

1. 了解课程的性质、地位、任务和学习方法；
2. 熟悉本门课程的研究对象、内容；
3. 掌握机器、零件的概念及机器的组成；
4. 通过典型机器组成分析等内容的学习,使学生熟悉机器的特征,感受机器的复杂性和系统性,从而激发学生的探索和求知欲望。

## 【知识要点】

本章的知识要点是机器、零件的概念及机器的组成。

## 【导入案例】

机械是各种机构、装置、器械、仪器和机器的总称。现代机械的种类繁多,其用途、结构、性能千差万别,但从系统的观点看,任何机械都是一个系统,都是一个由若干装置、部件和零件组成的具有特定功能的机械系统。在学习机械设计课程之初,有必要对机械的组成,机械的基本要素有一个感性的了解,进而使读者熟悉本门课程的研究对象、内容,并对本门课程的性质、地位和任务有一个初步认识。

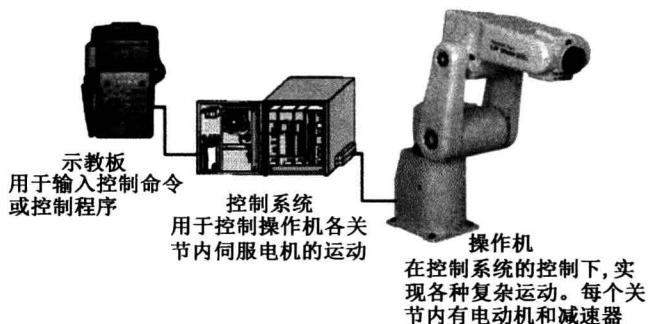


图 1.1 工业机器人的组成

## 1.1 机械工业在现代化建设中的地位与作用

机械工程与科学是一门古老的学科,它将人们从繁重的体力劳动中解放出来。当古人尝试着制造石器来狩猎或耕种时,已经产生了最初的设计萌芽。几千年来,一次次的产业革命,实现了社会分工的变革并改变了人们的生活方式,但以机械科学为基础的机械制造

工业仍然是一个国家的支柱产业。据报道,工业化国家财富的 60% ~ 80% 是制造业创造的,我国制造业产值占 GDP 的比重也已达到了 38% 以上,机械制造的水平已成为一个国家现代化建设水平的主要标志之一。制造是将科技转化为财富的最后环节,而制造业的灵魂是产品设计,机械设计则是产品设计的重要组成部分。

人们在进行工业、农业、国防和科技的现代化建设过程中都广泛使用了各种机器,机器的使用,不仅可以代替或减轻人们的体力劳动和脑力劳动,还可以提高生产效率(图 1.1)。同时,只有使用机器才便于实现产品的标准化、系列化和通用化,实现产品生产的高度机械化、电气化和自动化。而且随着国民经济的进一步发展,对机械的自动化、智能化要求也越来越高,越来越迫切,这就对机械设计工作者提出了更新、更高的要求,因此,本课程在现代化建设中的地位和作用将显得更加重要。

## 1.2 本课程的研究对象及研究内容

机器的种类繁多。在生产中,常见的机器有汽车、拖拉机、电动机、各种机床等;在生活中常用的机器有洗衣机、缝纫机、电风扇、摩托车等,它们的构造、性能和用途等各不相同。但从系统的观点看,任何机器都是一个系统,都是一个由若干装置、部件和零件组成的具有特定功能的机械系统。

凡能实现确定的机械运动,又能做有用的机械功或完成能量、物料与信息转换和传递的装置,称为机器,如半自动钻床能实现确定的机械运动,又做有用的机械功。若只能用来传递运动和力或改变运动形式的机械传动装置,则称为机构,如连杆机构、齿轮机构、凸轮机构等。但从运动的观点来看,两者之间并无区别,通常将机器和机构统称为机械。因为机械原理课程已研究过机构,所以本课程的研究对象只是机器及组成机器的零部件。

### 1. 机器的组成

从功能组成的角度,一部现代化的机器应包括原动机部分、传动部分、执行部分、控制系统和辅助系统五部分,如图 1.2 所示,其中原动机部分、传动部分、执行部分是机械的主体。

原动机部分是机械设备完成其工作任务的动力来源,包括电动机、内燃机、液压马达和气动机等,其中最常用的是各类电动机。电动机可以把电能转化成机械能,内燃机可把燃气的热能转换成机械能。

传动部分按执行机构作业的特定要求,把原动机的运动和动力传递给执行机构。常用的各种减速器和变速装置,如齿轮减速器、蜗杆减速器和无级变速器等,均可作为传动装置。

执行部分也是工作部分,它是一部机器中最接近作业工作端的机构,完成作业任务,如起重机和挖掘机中的起重吊运和挖掘机构。

随着机器的功能越来越复杂,对机器的精度要求也越来越高,所以机器除了以上三个部分外,还会不同程度地增加其他部分,如控制系统和辅助系统等。

控制系统被用来处理机器各组成部分之间以及与外部其他机器之间的工作协调关系。

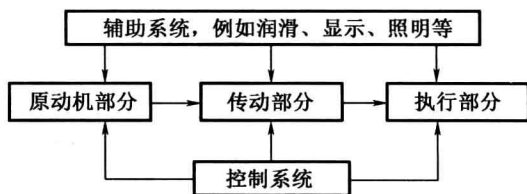


图 1.2 机器的功能组成

控制部分的形式很多,可以是机械,也可以是电器、液力及计算机等。以内燃机为例,主体机构是曲柄滑块机构,进气、排气是通过凸轮机构实现的,属于控制部分。

辅助系统,如机床中的润滑、显示、照明、冷却系统等。

以普通车床为例,见图 1.3。电动机是车床的原动部分;变速箱、主轴、丝杆等组成传动部分;拖板、刀架是执行部分;各种操作手柄及电器控制装置组成控制系统;当然车床中还包括润滑、显示、照明、冷却系统等。

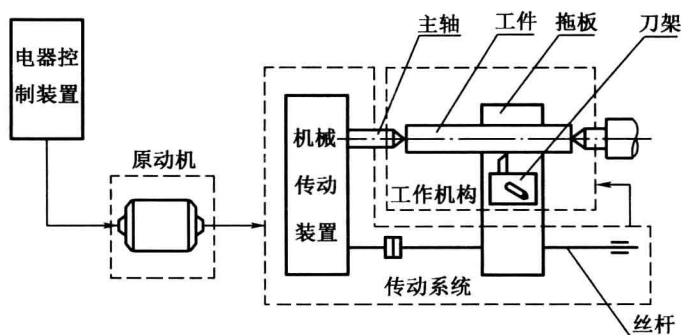


图 1.3 普通车床的功能组成

## 2. 零件

机械零件是构成机械系统的最基本要素,也是机械加工制造的基本单元。本课程重点研究普通条件下,一般参数的通用零部件的设计理论与设计方法,即不包括高温、高压、高速,尺寸过大、过小,以及有特殊要求的零部件,这些零部件和其他专用零件将在专业课中研究。所谓通用零部件实际是指各种机器都经常使用的零部件。常用的通用零部件包括齿轮、蜗杆、轴、轴承和联轴器等。机械零件中除通用零部件外还有专用零部件,如发动机中的曲轴、汽轮机中的叶片,这些专用零部件都不是本课程研究的对象。

本课程的内容是对机械设计基础知识、基本理论、程序和设计步骤与过程的论述。从工作情况分析、主要失效形式、设计计算准则、主要参数计算与校核方法、典型结构设计等方面,学习机械连接、机械传动、轴系及弹簧几大类典型机械零部件的设计方法,并从整体的角度初步学习机械系统设计的基本知识。具体内容如下。

①总论部分 零件设计的基本原则、设计计算理论、材料选择、摩擦磨损及润滑等方面的知识。

②机械连接 常用连接方法(螺纹、键、花键、销、无键连接)的结构、适用范围、设计方法。

③机械传动 螺旋传动、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动等的设计方法。

④轴系零部件及弹簧 轴、轴承、联轴器和离合器及弹簧等的设计方法。

## 1.3 本课程的性质和任务

“机械设计”是以一般通用零部件的设计计算为核心的一门设计性、综合性和实践性都很强的技术基础课。在这门课程中,将综合理论力学、材料力学、机械制图、机械原理、金属

工艺学、工程材料及热处理、公差及测量技术基础等多门课程的知识,来解决一般通用机械零部件的设计问题,同时也为专业课的学习打下基础。本课程把基础课和专业课有机地结合起来,在教学中起着承前启后的重要作用,体现技术基础课的特有性质。机械设计是机械类和近机类专业中的一门主干课程。本课程的任务如下。

①培养正确的设计思想,包括设计时应考虑节约能源、合理利用我国资源、减少环境污染、坚持可持续发展的原则。

②掌握通用机械零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律,具有设计机械传动装置和简单机械的能力。

③初步具有一定机械系统方案优化及决策的能力与素质。

④掌握一定的设计技能,包括计算能力,绘图能力和运用标准、规范、手册、图册及查阅有关技术资料的能力。

⑤了解国家当前的有关技术经济政策及机械设计的新发展动向。

## 1.4 学习本课程应注意的问题

本课程的研究对象和性质决定了本课程的特点,即内容本身的繁杂性,主要体现在本门课程具有“三性”、“四多”的特点。“三性”是综合性、实践性、设计性;“四多”是指公式多、系数多、图表多、关系多等方面。因此,本门课程的学习方法与以前的基础课有所不同,归纳起来如下。

①抓住课程体系,掌握机械零部件设计的共性问题及一般思路。机械设计是以设计零件为线索,标准件以选择型号为主,然后进行适当的校核。在学习每一个零件时,都要了解零件的工作原理、失效形式、材料选择、工作能力计算及结构设计,内容虽然很多,但都是为达到一个目的,就是设计零件。

②理论联系实际。“机械设计”是实践性、技术性较强的课程,其研究的对象是各种机械设备中的机械零部件,与工程实际联系紧密,因此在学习时应利用各种机会深入生产车间、实验室,注意观察实物和模型,增加对常用机构和通用机械零部件的感性认识。了解机械的工作条件和要求,做到理论知识与实践有机结合。

③要综合运用先修课程的知识解决机械设计问题。“机械设计”是一门综合性较强的课程,在设计零件过程中要用到多门先修课的知识。例如,在轴的设计这一部分中,当对轴进行强度、刚度校核时,就要运用工程力学的知识。因此在学习本课程时,必须及时复习先修课程的有关内容,做到融会贯通、综合运用。

④要理解系数引入的意义。机械设计中,由于实际影响因素很复杂,而这些因素一般用系数来反映,所以,在公式中系数很多,应充分理解系数的物理意义、影响系数的因素及如何取值。

⑤培养解决工程实际问题的能力。设计参数、经验公式和经验数据多因素、多方案的分析和选择,是解决工程实际问题中经常遇到的问题,也是学生在学习本课程中的难点。因此,在学习本课程时一定要尽快适应这种情况,按解决工程实际问题的思维方法,提高机械设计能力,特别是机械系统方案的设计能力和结构设计能力。

## 本章小结

本章主要介绍了机器的组成和机械设计课程的研究对象、内容,课程的性质、地位、任务及本课程的学习方法等。

## 第2章 机械设计概论

### 【教学目标】

1. 了解机械设计和机械零件设计的基本要求;
2. 熟悉机械设计的一般程序;
3. 掌握机械零件常见失效形式、计算准则,零件设计的方法、基本原则;
4. 通过机械零件设计基本知识的学习,使学生感受机械零件设计乃至机械系统设计的规律性,学会遵循机械设计方法解决机械设计问题,培养其有理有据的务实精神。

### 【知识要点】

本章的知识要点是机械设计及机械零件设计的基本要求,机械设计的一般程序,机械零件常见失效形式、计算准则,零件设计的方法、基本原则。

### 【导入案例】

机械设计是机械工程的重要组成部分,是机械生产的第一步,是决定机械性能的最主要的因素。机械设计的努力目标是:在各种限定的条件(如材料、加工能力、理论知识和计算手段等)下设计出最好的机械。需要综合地考虑许多要求,一般有:最好工作性能、最低制造成本、最小尺寸和最小质量、使用中最大可靠性、最低消耗和最少污染环境。这些要求常是互相矛盾的,而且它们之间的相对重要性因机械种类和用途的不同而异。设计者的任务是按具体情况权衡轻重,统筹兼顾,使设计的机械有最优的综合技术经济效益。服务于不同产业的不同机械,应用不同的工作原理,要求具有不同的功能和特性。各产业机械的设计,特别是整体和整系统的机械设计,须依附于各有关的产业技术而难于形成独立的学科。因此出现了农业机械设计、矿山机械设计、纺织机械设计、汽车设计、船舶设计、泵设计、压缩机设计、汽轮机设计、内燃机设计、机床设计等专业性的机械设计分支学科。但是,这许多专业设计又有许多共性技术,如力的分析和计算、工程材料学、材料强度学、润滑、密封,以及标准化、可靠性、工艺性、优化等。

## 2.1 机械设计与机械零件设计的基本要求

机械设计是根据用户的使用要求对专用机械的工作原理、结构、运动方式、力和能量的传递方式、各个零件的材料和形状尺寸、润滑方法等,进行构思、分析和计算并将其转化为具体的描述以作为制造依据的工作过程。设计能满足人们生产、生活的需要,具有市场竞争力的产品是机械设计的核心。

### 2.1.1 机械设计的基本要求

#### 1. 实现预定的功能,满足使用要求

所谓功能是指用户提出的需要满足的使用上的特性和能力,是机械设计的最基本出发

点。在机械设计过程中,设计者所设计的机械首先应实现功能的要求。为此,必须正确地选择机械的工作原理、机构的类型、拟定机械传动系统方案,并且所选的机构类型和拟定的机械传动系统方案,能满足运动和动力性能的要求。

## 2. 可靠性和安全性的要求

机械的可靠性是指机械在规定的使用条件下、在规定的时间内完成规定功能的能力。安全可靠是机械的必备条件,为了满足这一要求,必须从机械系统的整体设计、零部件的结构设计、材料及热处理的选择、加工工艺的制定等方面加以保证。

## 3. 市场需要和经济性的要求

在产品设计中,自始至终都应把产品设计、销售及制造三方面作为一个整体考虑。只有设计与市场信息密切配合,在市场、设计、生产中寻求最佳关系,才能以最快的速度回收投资,获得满意的经济效益。

## 4. 机械零部件结构设计的要求

机械设计的最终结果都是以一定的结构形式表现出来的,且各种计算都要以一定的结构为基础。所以,设计机械时,往往要事先选定某种结构形式,再通过各种计算得出结构尺寸,将这些结构尺寸和确定的几何形状绘制成零件工作图,最后按设计的工作图制造、装配成部件乃至整台机器,以满足机械的使用要求。

## 5. 操作使用方便的要求

机器的工作和人的操作密切相关。在设计机器时必须注意操作要轻便省力、操作机构要适应人的生理条件、机器的噪声要小、有害介质的泄漏要少等。

## 6. 工艺性及标准化、系列化、通用化的要求

机械及其零部件应具有良好的工艺性,即考虑零件的制造方便,加工精度及表面粗糙度适当,易于装拆。设计时,零部件和机器参数应尽可能标准化、通用化、系列化,以提高设计质量,降低制造成本,并且使设计者将主要精力用在关键零部件的设计上。

### 2.1.2 机械零件设计的基本要求

#### 1. 强度要求

机械零件应满足强度要求,即防止它在工作中发生整体断裂或产生过大的塑性变形或出现疲劳点蚀。对机械零件的强度要求是最基本的要求。

提高机械零件的强度是机械零件设计的核心之一,为此可以采用以下几项措施。

- (1)采用强度高的材料。
- (2)使零件的危险截面具有足够的尺寸。
- (3)用热处理方法提高材料的力学性能。
- (4)提高运动零件的制造精度,以降低工作时的动载荷。
- (5)合理布置各零件在机器中的相互位置,减小作用在零件上的载荷等。

#### 2. 刚度要求

机械零件应满足刚度要求,即防止它在工作中产生的弹性变形超过允许的限度。通常只是当零件过大的弹性变形会影响机器的工作性能时,才需要满足刚度要求。一般对机床主轴、导轨等零件需要进行强度和刚度计算。

提高机械零件的刚度可以采用以下几项措施。

- (1) 增大零件的截面尺寸。
- (2) 缩短零件的支承跨距。
- (3) 采用多点支承结构等。

### 3. 结构工艺性要求

机械零件应有良好的工艺性,即在一定的生产条件下,以最小劳动量、花最少加工费用制成能满足使用要求的零件,并能以最简单的方法在机器中进行装拆与维修。因此,零件的结构工艺性应从毛坯制造、机械加工过程及装配等几个生产环节加以综合考虑。

### 4. 经济性要求

经济性是机械产品的重要指标之一。从产品设计到产品制造应始终贯彻经济性原则。设计中在满足零件使用要求的前提下,可以从以下几个方面考虑零件的经济性。

- (1) 先进的设计理论和方法,采用现代化设计手段,提高设计质量和效率,缩短设计周期,降低设计费用。
- (2) 尽可能选用一般材料,以减少材料费用,同时应降低材料消耗,如多用无切削或少切削加工,减少加工余量等。
- (3) 零件结构应简单,尽量采用标准零件,选用允许的最大公差和最低精度。
- (4) 提高机器效率,节约能源,如尽可能减少运动件、创造优良润滑条件等,包装与运输费用也应注意考虑。

### 5. 减轻质量的要求

机械零件设计应力求减轻质量,这样可以节约材料,对运动零件来说可以减小惯性,改善机器的动力性能,减小作用于构件上的惯性载荷。减轻机械零件质量的措施如下。

- (1) 从零件上应力较小处挖去部分材料,以改善零件受力的均匀性,提高材料的利用率。
- (2) 采用轻型薄壁的冲压件或焊接件来代替铸、锻零件。
- (3) 采用与工作载荷相反方向的预载荷。
- (4) 减小零件上的工作载荷等。

机械零件的强度、刚度是从设计上保证它能够可靠工作的基础,而零件可靠的工作是保证机器正常工作的基础。零件具有良好的结构工艺性和较轻的质量是机器具有良好经济性的基础。在实际设计中,经常会遇到基本要求不能同时得到满足的情况,这时应根据具体情况,合理地做出选择,保证主要的要求能够得到满足。

## 2.2 机械设计的一般程序

我国设计人员早在 20 世纪 60 年代就总结出全面考虑实验、研究、设计、制造、安装、使用、维护的“七事一贯制”设计方法。机械设计不可能有固定不变的程序,因为设计本身就是一个富有创造性的工作,同时也是一个尽可能多地利用已有成功经验的工作。机械设计的过程是复杂的,它涉及多方面的工作,如市场需求、技术预测、人机工程等,再加上机械的种类繁多,性能差异巨大,所以机械设计的过程并没有一个通用的固定程序,需要根据具体情况相应的处理。本书仅就设计机器的技术过程进行讨论,以比较典型的机器设计为

例,介绍机械设计的一般程序。

一台新机器从着手设计到制造出来,主要经过以下六个阶段。

### 2.2.1 制订设计工作计划

根据社会、市场的需求确定所设计机器的功能范围和性能指标;根据现有的技术、资料及研究成果研究其实现的可能性,明确设计中要解决的关键问题;拟订设计工作计划和设计任务书。

### 2.2.2 方案设计

按设计任务书的要求,了解并分析同类机器的设计、生产和使用情况以及制造厂的生产技术水平,研究实现机器功能的可能性,提出可能实现机器功能的多种方案。每个方案应该包括原动机、传动机构和工作机构,对较为复杂的机器还应包括控制系统。然后,在考虑机器的使用要求、现有技术水平和经济性的基础上,综合运用各方面的知识与经验对各个方案进行分析比较。通过分析确定原动机、选定传动机构、确定工作机构的工作原理及工作参数,绘制工作原理图,完成机器的方案设计。

在方案设计的过程中,应注意相关学科与技术中新成果的应用,如先进制造技术、现代控制技术、新材料等,这些新技术的发展使得以往不能实现的方案变为可能,这些都为方案设计的创新奠定了基础。

### 2.2.3 技术设计

对已选定的设计方案进行运动学和动力学的分析,确定机构和零件的功能参数,必要时进行模拟试验、现场测试、修改参数;计算零件的工作能力,确定机器的主要结构尺寸;绘制总装配图、部件装配图和零件工作图。技术设计主要包括以下几项内容。

#### (1) 运动学设计

根据设计方案和工作机构的工作参数,确定原动机的动力参数,如功率和转速,进行机构设计,确定各构件的尺寸和运动参数。

#### (2) 动力学计算

根据运动学设计的结果,分析、计算出作用在零件上的载荷。

#### (3) 零件设计

根据零件的失效形式,建立相应的设计准则,通过计算、类比或模型试验的方法确定零部件的基本尺寸。

#### (4) 总装配草图的设计

根据零部件的基本尺寸和机构的结构关系,设计总装配草图。在综合考虑零件的装配、调整、润滑、加工工艺等的基础上,完成所有零件的结构与尺寸设计。在确定零件的结构、尺寸和零件间的相互位置关系后,可以较精确地计算出作用在零件上的载荷,分析影响零件工作能力的因素。在此基础上应对主要零件进行校核计算,如对轴进行精确的强度计算,对轴承进行寿命计算等。根据计算结果反复地修改零件的结构尺寸,直到满足设计要求。

#### (5) 总装配图与零件工作图的设计

根据总装配草图确定的零件结构尺寸,完成总装配图与零件工作图的设计。

#### 2.2.4 施工设计

根据技术设计的结果,考虑零件的工作能力和结构工艺性,确定配合件之间的公差。视情况与要求,编写设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表、外购件明细表、验收条件等。

#### 2.2.5 试制、试验、鉴定

所设计的机器能否实现预期的功能、满足所提出的要求,其可靠性、经济性如何等,都必须通过对试制的样机的试验来加以验证,再经过鉴定,以科学的评价确定是否可以投产或进行必要的改进设计。

#### 2.2.6 定型产品设计

经过试验和鉴定,对设计进行必要的修改后,可进行小批量的试生产。经过实际条件下的使用,根据取得的数据和使用的反馈意见,再进一步修改设计,即定型产品的设计,然后正式投产。

实际上整个机械设计的各个阶段是互相联系的,在某个阶段发现问题后,必须返回到前面的有关阶段进行设计的修改,直至问题得到解决。有时,可能整个方案都要推倒重来。因此,整个机械设计过程是一个不断修改、不断完善直至逐步接近最佳结果的过程。

### 2.3 机械零件的主要失效形式与设计准则

机械零件因某种原因不能正常工作或丧失了工作能力,称为失效。零件出现失效将直接影响机器的正常工作,因此研究机械零件的失效并分析产生失效的原因对机械零件设计具有重要意义。

#### 2.3.1 机械零件的主要失效形式

##### 1. 整体断裂

零件在载荷作用下,危险截面上的应力大于材料的极限应力而引起的断裂称为整体断裂,如螺栓破断、齿轮断齿、轴断裂等。整体断裂分为静强度断裂和疲劳强度断裂。静强度断裂是由于静应力过大产生的,疲劳断裂是由于变应力的反复作用产生的。机械零件整体断裂中 80% 属于疲劳断裂。断裂是严重的失效,有时会导致严重的人身事故和设备事故。

##### 2. 过大的变形

机械零件受载时将产生弹性变形。当弹性变形量超过许用范围时将使零件或机械不能正常工作。弹性变形量过大,将破坏零件之间的相互位置及配合关系,有时还会引起附加动载荷及振动,如机床主轴的过大弯曲变形不仅产生振动,而且造成零件加工质量的降低。

塑性材料制作的零件,在过大载荷作用下会产生塑性变形,这不仅使零件尺寸和形状发生改变,而且使零件丧失工作能力。

##### 3. 表面破坏

表面破坏是发生在机械零件工作表面上的一种失效。运动的工作表面一旦出现何种表面失效,都将破坏表面精度,改变表面尺寸和形貌,使运动性能降低、摩擦加大、能耗增

加,严重时导致零件完全不能工作。根据失效机理的不同,表面破坏可分为以下几种情况。

#### (1) 点蚀

如滚动轴承和齿轮等点、线接触的零件,在高接触应力(接触部分受载后产生弹性变形,接触表面产生的压力)及一定工作循环次数作用下可能在局部表面上形成小块的,甚至是片状的麻点或凹坑,进而导致零件失效,这种失效称为点蚀。

#### (2) 胶合

金属表面接触时实际上只有少数凸起的峰顶在接触,因受压力大而产生弹塑性变形,使摩擦表面的吸附油膜破裂。同时,因摩擦而产生高温,造成基体金属的“焊接”现象。当摩擦表面相对滑动时,切向力将黏着点切开呈撕脱状态。被撕脱的金属会在摩擦表面上形成表面凸起,严重时会造成运动副咬死。这种由于黏着作用使材料由一个表面转移到另一个表面的失效称为胶合。

#### (3) 磨料磨损

不论是摩擦表面的硬凸峰,还是外界掺入的硬质颗粒,在摩擦过程中都会对摩擦表面起切削或辗破作用,引起表面材料的脱落,这种失效称为磨料磨损。

#### (4) 腐蚀磨损

在摩擦过程中摩擦表面与周围介质发生化学反应或电化学反应的磨损,即腐蚀与磨损同时起作用的磨损称为腐蚀磨损。

### 4. 破坏正常工作条件引起的失效

有些零件只有在一定的工作条件下才能正常工作,若破坏了这些必备条件则将发生不同类型的失效。例如,V带传动当传递的有效圆周力大于最大摩擦力时产生打滑失效,受横向工作载荷的普通螺栓连接的松动失效等。

### 2.3.2 机械零件的设计准则

在设计零件时所依据的准则是与零件的失效形式紧密地联系在一起的。对于一个具体零件,要根据其主要失效形式采用相应的设计准则。现将一些主要准则分述如下。

#### 1. 强度准则

强度准则针对的是零件的整体断裂失效(包括静应力作用下产生的静强度断裂和变应力作用下产生的疲劳断裂)、塑性变形失效和点蚀失效。对于这几种失效,强度准则要求零件所受的应力分别不超过材料的强度极限、零件的疲劳极限、材料的屈服极限和材料的接触疲劳极限。强度准则的一般表达式(应力小于等于许用应力)为

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\lim}}{S} \quad (2-1)$$

式中  $\sigma$ ——零件的应力;

$\sigma_{\lim}$ ——极限应力;

$S$ ——安全系数,补偿各种不确定因素和分析不准确对强度的影响。

#### 2. 刚度准则

刚度是零件抵抗弹性变形的能力。刚度准则针对的是零件的过大弹性变形失效,它要求零件在载荷作用下产生的弹性变形量不超过机器工作性能允许的值。有些零件,如机床主轴、电动机轴等,其基本尺寸是由刚度条件确定的。对重要的零件要验算刚度是否足够。