

普通高等院校机电工程类规划教材

# 机械设计基础

郭润兰 刘洪芹 段红燕 主编

## 内 容 简 介

全书共分14章,较详尽地介绍了机械设计常用的基础知识,包括:常用机构的类型、特点、功用及其在实践中的应用,以及常用机构设计的基本知识及其运动学与力学特性的分析方法;常用机械零件设计的基本知识及选用原则;互换性与测量技术基础知识;机械系统方案设计。本书针对我国卓越工程师教育培养计划的实施,在体系和章节内容的安排上作了精心的编排。各章中有教学提示和教学要求,并配有相应的例题、习题以及必要的资料。

本书主要作为高等工科院校近机械类各专业“机械设计基础”课程的教材,也可供有关专业的教师、学生和工程技术人员参考使用。

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

机械设计基础/郭润兰,刘洪芹,段红燕主编. --北京:清华大学出版社,2012.5

(普通高等院校机电工程类规划教材)

ISBN 978-7-302-28248-8

I. ①机… II. ①郭… ②刘… ③段… 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(2012)第039436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:王静怡

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:北京世知印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:17.5

字 数:422千字

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:35.00元

---

产品编号:042036-01

# 前 言

随着科学技术的发展和制造过程的机械化以及自动化水平的提高,在冶金、石油、化工、采矿、动力、土木、轻纺、交通运输和食品加工等行业都会不同程度地涉及各种类型的通用、专用机械装备的使用、维护、改进等问题,其必须应用一定的机械设计基础知识予以解决。“机械设计基础”是高等工科学校培养学生具有一定机械设计能力的一门技术基础课程。通过本教材的学习,可以获得认识、使用和设计机械装备的基本知识,并具有运用机械设计图册、标准、规范、手册及设计简单机械传动装置的能力,为深入学习有关专业机械装备的课程和提高分析解决机械工程技术问题的能力奠定必要的基础。

本书作为面向 21 世纪机械学科新课程体系的一门技术基础课教材,在编写中力求使之具有如下特色:

(1) 针对机械工程学科新课程体系改革的需要和非机械类专业面广、学时少的特点,精选内容,突出机械设计的基本知识、基本理论和基本设计方法等基本教学内容,淡化公式推导,加强对学生提出问题、分析问题和解决问题的能力培养。

(2) 为配合“卓越工程师教育培养计划”在教材内容上作了适当调整。

(3) 通过简要介绍课程的性质、任务、内容等背景和适当介绍本学科的新知识、新成果及新发展,激发学生的求知欲和学习兴趣。

(4) 先介绍机械的总体设计,然后介绍组成机械的机构、零件及部件的设计,最后在“机械系统运动方案设计”一章,介绍机械系统运动方案设计的方法和步骤,加强了整体机械系统的分析、设计,使学生能结合实际问题,综合运用本课程的知识,拟定机械传动方案和机构方案。此外,还介绍了部分现代设计方法,以扩大学生的设计视野。

(5) 全书内容覆盖面广、概念清楚。为配合非机械类专业缺乏“互换性与测量技术”的知识,在本书的编写中专门有一章介绍互换性与测量技术的基础知识,以满足“机械设计基础”课程设计的要求,并采用最新颁布的有关国家标准、规范。

本教材注重理论联系实际,注重培养学生提出、分析和解决问题的能力,使学生学会灵活运用所学知识,解决具体机构、一般机械及其零、部件的设计,并不断提高创新设计的能力。本教材有比较强的通用性,适合于非机械类及近机械类各专业使用,教学时可根据不同专业学时数的多少等实际需要对本书内容作适当的取舍,以适应非机械类各专业课程体系的教学。

本书由郭润兰统稿,第 1、3、4、10、12、14 章由郭润兰编写;第 2、5、6、7、10、11 章由段红燕编写;第 8、9、13 章由刘洪芹编写。同时向直接或者间接为教材撰写、为教学课件中所引素材做出贡献的专家学者表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免存在错误及不足之处,殷切希望读者批评指正。

编 者  
2012 年 2 月

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 1 绪论 .....                      | 1  |
| 1.1 机械设计基础课程的研究对象及内容 .....      | 1  |
| 1.1.1 机械设计基础课程的研究对象 .....       | 1  |
| 1.1.2 机械设计基础课程学习的内容、特点和任务 ..... | 3  |
| 1.2 机械设计的基本要求和一般程序 .....        | 4  |
| 1.2.1 机械设计的基本要求 .....           | 4  |
| 1.2.2 机械设计的主要内容 .....           | 5  |
| 1.2.3 机械设计的一般程序 .....           | 6  |
| 1.3 机械零件的主要失效形式和设计准则 .....      | 6  |
| 1.3.1 机械零件的主要失效形式 .....         | 6  |
| 1.3.2 机械零件的设计准则 .....           | 7  |
| 1.3.3 机械零件设计的一般步骤 .....         | 8  |
| 习题 .....                        | 8  |
| 2 平面机构的结构分析 .....               | 9  |
| 2.1 运动副及其分类 .....               | 9  |
| 2.2 平面机构的运动简图 .....             | 10 |
| 2.2.1 构件的分类及其表示方法 .....         | 10 |
| 2.2.2 机构运动简图 .....              | 11 |
| 2.3 平面机构的自由度 .....              | 13 |
| 2.3.1 自由度 .....                 | 13 |
| 2.3.2 平面机构自由度计算公式 .....         | 13 |
| 2.3.3 计算平面机构自由度时的注意事项 .....     | 14 |
| 2.3.4 机构具有确定运动的条件 .....         | 16 |
| 习题 .....                        | 17 |
| 3 平面连杆机构 .....                  | 19 |
| 3.1 概述 .....                    | 19 |
| 3.2 平面四杆机构的基本类型及其演化 .....       | 20 |
| 3.2.1 铰链四杆机构的基本类型 .....         | 20 |
| 3.2.2 铰链四杆机构的演化 .....           | 23 |
| 3.3 平面四杆机构的基本特性 .....           | 26 |
| 3.3.1 平面四杆机构的运动特性 .....         | 26 |
| 3.3.2 平面四杆机构的传力特性 .....         | 29 |

|       |                    |    |
|-------|--------------------|----|
| 3.4   | 平面四杆机构的图解法设计       | 31 |
|       | 习题                 | 34 |
| 4     | 凸轮机构               | 36 |
| 4.1   | 凸轮机构的应用和分类         | 36 |
| 4.1.1 | 凸轮机构的组成            | 36 |
| 4.1.2 | 凸轮机构的应用            | 36 |
| 4.1.3 | 凸轮机构的分类            | 37 |
| 4.2   | 凸轮机构从动件常用的运动规律     | 41 |
| 4.2.1 | 凸轮机构中的相关名词术语       | 41 |
| 4.2.2 | 凸轮机构从动件常用的运动规律     | 41 |
| 4.2.3 | 凸轮机构从动件运动规律的选择     | 45 |
| 4.3   | 盘形凸轮轮廓曲线的设计        | 45 |
| 4.3.1 | 图解法设计盘形凸轮轮廓曲线的基本原理 | 45 |
| 4.3.2 | 图解法设计盘形凸轮轮廓曲线      | 46 |
| 4.4   | 凸轮机构设计应注意的问题       | 49 |
| 4.4.1 | 凸轮机构压力角            | 49 |
| 4.4.2 | 凸轮基圆半径的确定          | 50 |
| 4.4.3 | 滚子半径的确定            | 51 |
|       | 习题                 | 52 |
| 5     | 间歇运动机构及其他机构        | 54 |
| 5.1   | 棘轮机构               | 54 |
| 5.1.1 | 棘轮机构的工作原理及特点       | 54 |
| 5.1.2 | 棘轮机构的主要参数          | 55 |
| 5.2   | 槽轮机构               | 56 |
| 5.2.1 | 槽轮机构的工作原理及特点       | 56 |
| 5.2.2 | 槽轮机构的主要参数          | 57 |
| 5.3   | 螺旋机构               | 58 |
| 5.4   | 不完全齿轮机构            | 60 |
| 5.5   | 凸轮式间歇运动机构          | 61 |
|       | 习题                 | 62 |
| 6     | 连接                 | 63 |
| 6.1   | 键连接                | 63 |
| 6.1.1 | 平键连接               | 63 |
| 6.1.2 | 花键连接               | 66 |
| 6.2   | 销连接                | 67 |
| 6.3   | 螺纹连接               | 67 |

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| 6.3.1 螺纹形成原理、类型和主要参数    | 67        |
| 6.3.2 螺旋副的受力分析、效率和自锁    | 69        |
| 6.3.3 螺纹连接及螺纹连接件        | 70        |
| 6.3.4 螺纹连接的预紧和防松        | 73        |
| 习题                      | 75        |
| <b>7 带传动</b>            | <b>76</b> |
| 7.1 带传动概述               | 76        |
| 7.1.1 带传动的组成及类型         | 76        |
| 7.1.2 带传动的特点及应用         | 78        |
| 7.1.3 V带的结构和规格          | 78        |
| 7.1.4 带传动的主要几何参数        | 80        |
| 7.2 带传动的工作能力分析          | 81        |
| 7.2.1 带传动的受力分析          | 81        |
| 7.2.2 带传动的运动分析          | 82        |
| 7.2.3 带的应力分析            | 82        |
| 7.3 普通 V 带传动设计          | 83        |
| 7.3.1 带传动的主要失效形式和设计准则   | 83        |
| 7.3.2 普通 V 带传动设计计算和参数选择 | 83        |
| 7.4 V 带带轮的结构            | 88        |
| 7.5 带传动的张紧装置及维护         | 89        |
| 习题                      | 91        |
| <b>8 齿轮传动</b>           | <b>92</b> |
| 8.1 齿轮传动概述              | 92        |
| 8.1.1 齿轮传动的特点           | 92        |
| 8.1.2 齿轮传动的类型           | 93        |
| 8.2 齿廓啮合基本定律            | 95        |
| 8.3 渐开线齿廓及其啮合特性         | 96        |
| 8.3.1 渐开线的形成及特性         | 96        |
| 8.3.2 渐开线齿廓齿轮的啮合特性      | 97        |
| 8.4 标准直齿圆柱齿轮机构          | 98        |
| 8.4.1 直齿圆柱齿轮各部分的名称及代号   | 98        |
| 8.4.2 直齿圆柱齿轮的基本参数       | 99        |
| 8.4.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸  | 101       |
| 8.4.4 直齿圆柱齿轮的啮合传动       | 101       |
| 8.5 渐开线齿轮的切齿原理及变位齿轮     | 104       |
| 8.5.1 仿形法               | 105       |
| 8.5.2 范成法               | 105       |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 8.5.3 渐开线齿廓的根切现象·····             | 107        |
| 8.5.4 变位齿轮·····                   | 108        |
| 8.6 斜齿圆柱齿轮机构·····                 | 109        |
| 8.6.1 斜齿圆柱齿轮的齿廓曲面及其特点·····        | 109        |
| 8.6.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数及尺寸计算·····       | 109        |
| 8.6.3 一对斜齿圆柱齿轮啮合传动·····           | 111        |
| 8.6.4 斜齿圆柱齿轮的当量齿轮·····            | 112        |
| 8.7 直齿圆锥齿轮机构·····                 | 113        |
| 8.7.1 直齿圆锥齿轮的齿廓·····              | 113        |
| 8.7.2 直齿圆锥齿轮各部分名称及基本参数·····       | 113        |
| 8.7.3 直齿圆锥齿轮的背锥和当量齿轮·····         | 114        |
| 8.8 轮齿的失效和齿轮材料·····               | 115        |
| 8.8.1 轮齿的失效形式·····                | 116        |
| 8.8.2 齿轮材料·····                   | 117        |
| 8.9 齿轮强度计算·····                   | 120        |
| 8.9.1 直齿圆柱齿轮传动的强度计算·····          | 120        |
| 8.9.2 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算·····          | 124        |
| 8.9.3 直齿圆锥齿轮传动的强度计算·····          | 128        |
| 8.10 蜗杆传动·····                    | 129        |
| 8.10.1 蜗杆传动的特点和类型·····            | 129        |
| 8.10.2 普通圆柱蜗杆传动的基本参数及几何尺寸计算·····  | 131        |
| 8.10.3 蜗杆传动的相对滑动速度、失效形式和材料选择····· | 135        |
| 8.10.4 蜗杆传动的强度计算·····             | 136        |
| 8.10.5 蜗杆传动的热平衡计算·····            | 137        |
| 8.11 齿轮、蜗杆及蜗轮的结构及润滑·····          | 138        |
| 8.11.1 齿轮结构·····                  | 138        |
| 8.11.2 蜗杆及蜗轮结构·····               | 140        |
| 8.11.3 齿轮传动和蜗杆传动的润滑·····          | 141        |
| 习题·····                           | 142        |
| <b>9 轮系</b> ·····                 | <b>144</b> |
| 9.1 轮系的分类·····                    | 144        |
| 9.2 轮系传动比的计算·····                 | 145        |
| 9.2.1 定轴轮系传动比的计算·····             | 145        |
| 9.2.2 周转轮系传动比的计算·····             | 147        |
| 9.2.3 混合轮系传动比的计算·····             | 149        |
| 9.3 轮系的应用·····                    | 149        |
| 习题·····                           | 151        |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| <b>10 轴承</b> .....                         | 153 |
| 10.1 概述.....                               | 153 |
| 10.2 滑动轴承的结构型式.....                        | 154 |
| 10.2.1 向心滑动轴承.....                         | 154 |
| 10.2.2 推力滑动轴承.....                         | 156 |
| 10.3 滑动轴承的材料和轴瓦结构.....                     | 156 |
| 10.3.1 滑动轴承材料.....                         | 156 |
| 10.3.2 轴瓦的结构.....                          | 157 |
| 10.4 滚动轴承结构、类型、代号及选用.....                  | 157 |
| 10.4.1 滚动轴承的结构.....                        | 157 |
| 10.4.2 滚动轴承的类型.....                        | 158 |
| 10.4.3 滚动轴承的代号.....                        | 161 |
| 10.4.4 滚动轴承的选用.....                        | 163 |
| 10.5 滚动轴承的失效形式及寿命计算.....                   | 163 |
| 10.5.1 主要失效形式.....                         | 163 |
| 10.5.2 滚动轴承寿命.....                         | 164 |
| 10.5.3 角接触球轴承和圆锥滚子轴承的轴向载荷( $F_A$ )计算 ..... | 167 |
| 10.6 滚动轴承的组合设计、润滑与密封 .....                 | 169 |
| 10.6.1 滚动轴承的组合设计.....                      | 169 |
| 10.6.2 滚动轴承的润滑和密封.....                     | 172 |
| 习题.....                                    | 174 |
| <br>                                       |     |
| <b>11 轴</b> .....                          | 176 |
| 11.1 轴的类型和材料.....                          | 176 |
| 11.1.1 轴的类型.....                           | 176 |
| 11.1.2 轴的材料.....                           | 177 |
| 11.2 轴的结构设计.....                           | 178 |
| 11.2.1 轴上零件定位.....                         | 179 |
| 11.2.2 各轴段直径和长度的确定.....                    | 180 |
| 11.2.3 轴的结构工艺性要求.....                      | 181 |
| 11.2.4 轴的强度要求.....                         | 181 |
| 11.3 轴的强度计算.....                           | 182 |
| 11.3.1 按扭转强度估算最小轴径.....                    | 183 |
| 11.3.2 按弯扭合成强度计算.....                      | 183 |
| 11.3.3 轴设计时应注意的事项.....                     | 189 |
| 习题.....                                    | 190 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>12 联轴器、离合器</b> .....      | 191 |
| 12.1 联轴器 .....               | 191 |
| 12.1.1 刚性联轴器 .....           | 191 |
| 12.1.2 弹性联轴器 .....           | 194 |
| 12.2 离合器 .....               | 195 |
| 习题 .....                     | 196 |
| <b>13 互换性与测量技术基础知识</b> ..... | 197 |
| 13.1 概述 .....                | 197 |
| 13.1.1 互换性及其作用 .....         | 197 |
| 13.1.2 公差与检测 .....           | 198 |
| 13.1.3 标准化与优先数系 .....        | 199 |
| 13.2 孔、轴的极限与配合 .....         | 199 |
| 13.2.1 基本术语及其定义 .....        | 200 |
| 13.2.2 极限值 .....             | 201 |
| 13.2.3 配合 .....              | 203 |
| 13.2.4 基准制及其选择 .....         | 210 |
| 13.2.5 常用和优先用公差带与配合 .....    | 211 |
| 13.2.6 公差与配合在图样上的标注 .....    | 213 |
| 13.3 几何公差 .....              | 214 |
| 13.3.1 概述 .....              | 214 |
| 13.3.2 几何公差的标注和公差带 .....     | 215 |
| 13.3.3 几何公差的选择 .....         | 226 |
| 13.4 表面粗糙度 .....             | 228 |
| 13.4.1 表面粗糙度对零件使用性能的影响 ..... | 228 |
| 13.4.2 表面粗糙度的评定 .....        | 229 |
| 13.4.3 表面粗糙度符号及其标注 .....     | 230 |
| 13.4.4 表面粗糙度的选择 .....        | 231 |
| 13.5 典型零件的公差与配合 .....        | 232 |
| 13.5.1 平键连接的互换性 .....        | 232 |
| 13.5.2 滚动轴承的互换性 .....        | 233 |
| 13.5.3 齿轮传动的精度及互换性 .....     | 237 |
| 13.5.4 综合举例 .....            | 244 |
| 习题 .....                     | 248 |
| <b>14 机械系统运动方案设计</b> .....   | 249 |
| 14.1 概述 .....                | 249 |
| 14.1.1 机械系统设计的概念 .....       | 249 |

---

|        |                     |            |
|--------|---------------------|------------|
| 14.1.2 | 机械运动方案设计的过程和内容..... | 250        |
| 14.2   | 功能原理设计.....         | 250        |
| 14.2.1 | 功能原理设计的构思与选择.....   | 250        |
| 14.2.2 | 功能原理的创造性设计 .....    | 253        |
| 14.2.3 | 执行系统的运动规律设计 .....   | 254        |
| 14.3   | 执行机构型式设计.....       | 255        |
| 14.3.1 | 执行机构型式设计的原则.....    | 255        |
| 14.3.2 | 机构的选型 .....         | 256        |
| 14.3.3 | 机构的构型.....          | 257        |
| 14.4   | 执行系统协调设计.....       | 261        |
| 14.5   | 总体方案评价与决策.....      | 263        |
| 14.6   | 机械传动系统方案设计 .....    | 264        |
|        | 习题.....             | 267        |
|        | <b>参考文献</b> .....   | <b>268</b> |

# 1 绪 论

## 本章基本要求

1. 掌握机械的基本概念：机械、机器、机构、构件、零件（通用零件、专用零件）；
2. 了解机械设计的基本要求和一般步骤；
3. 掌握机械零件的主要失效形式，了解机械零件的设计准则。

## 1.1 机械设计基础课程的研究对象及内容

### 1.1.1 机械设计基础课程的研究对象

#### 1. 机械

本课程的研究对象是机械，机械是机器和机构的总称。

机械是伴随人类社会的不断进步逐渐发展与完善的。机械已经成为现代社会生产和服务的五大要素（人、资金、能量、材料、机械）之一。从广义角度讲，凡是能完成一定机械运动的装置都是机械。

工程中，常把每一个具体的机械称为机器，即谈到具体的机械时，常使用机器这个名词，泛指时则用机械来统称。现代机器的含义是：机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料与信息。坦克、导弹、汽车、飞机、轮船、车床、起重机、织布机、印刷机、包装机等大量具有不同外形，具有不同性能和用途的设备都是具体的机器。由于机器的重要特征是执行机械运动，工程中把机器中执行机械运动的装置称作机构。

如图 1.1(a)所示为一单缸四冲程内燃机，完成了进气、压缩、燃烧、排气的一个循环过程，是一个把热能转换为机械能的具体机器。其主要有汽缸 1，曲轴 2，连杆 3，活塞 4，排气阀门 5，火花塞 6，进气阀门 7，凸轮 8、12，减速齿轮 9、10、11 组成。

汽缸 1 中的活塞 4 向下移动，排气阀门 5 关闭，进气阀门 7 在凸轮 8 的控制下开启，将可燃气体吸入汽缸，此过程为进气冲程；活塞 4 向上移动时，进、排气阀门均关闭，可燃气体受压缩，此过程为压缩冲程；压缩冲程结束后，火花塞 6 利用高压放电，使燃气在汽缸中燃烧、膨胀，产生压力推动活塞 4 向下移动，此过程为爆炸冲程；活塞 4 向下移动的同时，通过连杆 3 推动曲轴 2 转动，向外输出机械能；当活塞 4 再次上移时，进气阀门 7 继续处于关闭状态，排气阀门 5 在凸轮 12 的控制下打开，将废气排出，这一过程称为排气冲程。图 1.1(b)为内燃机的机构简图，利用机构简图对内燃机进行分析和设计时，大大简化了设计工作。

活塞 4 的往复移动通过连杆 3 推动曲轴 2 连续旋转，这种把活塞移动转化为曲轴连续转动的装置为连杆机构。控制进、排气阀运动的装置称作凸轮机构，把凸轮 8、12 的连续转动变换为推杆 5、7 的移动。在四冲程的内燃机中，活塞往复移动 4 次，曲轴转动两周，进气阀和排气阀各启闭一次，所以凸轮的转数要比曲轴的转数低一倍。即在曲轴和凸轮轴之间

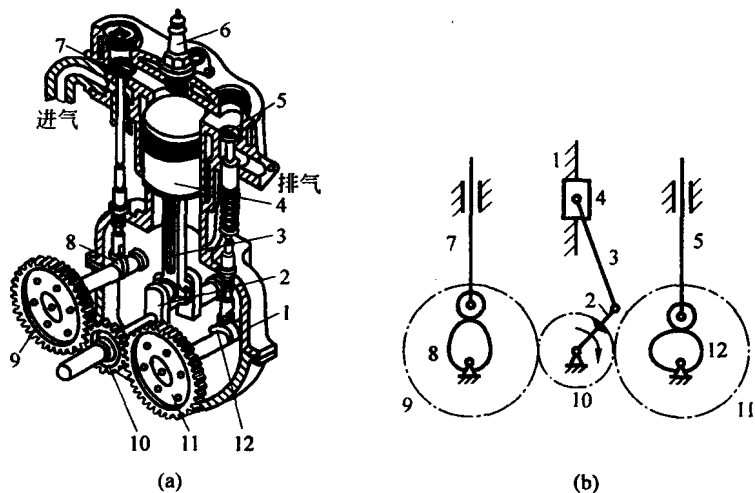


图 1.1 内燃机及其机构简图

要设置减速齿轮 9、10、11,其称为齿轮机构,实现了减速转动的运动变换。

## 2. 机器

### 1) 机器的特征

通过上述分析,机器有以下 3 个共同特征:

- (1) 若干实物(机件)的组合物;
- (2) 各组成部分(实物)之间有确定的相对运动;
- (3) 工作时能够转换能量或做有效的机械功。

### 2) 机器的组成

机器是执行机械运动的装置,由此可见机器中要有动力源,称为原动机;机器中还要有机械运动的传递装置和机械运动形态的变换装置,称为机械传动系统和工作执行系统,统称机械运动系统;现代机器还必须有控制系统。图 1.2 所示为机器的组成示意框图。

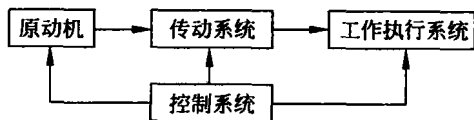


图 1.2 机器的组成示意框图

## 3. 机构与构件

机构是传递运动和动力的构件系统,其由若干个构件通过一定的连接方式组成,且各构件之间有确定的相对运动。如图 1.1 所示内燃机中的连杆机构、凸轮机构和齿轮机构。机构具备机器的前两个特征,一部机器可包含一个或若干个机构。

机构是组成机器的主体。机构与机器的共同点都是实现机械运动的装置,传递运动和动力,所以从运动学的观点看,二者是一样的。不同点是机构没有能量的转换和信息的传递。所以从机械运动的观点看,机构与机器没有本质区别,工程中将机构与机器统称为机械。

构件是机构中的运动单元,可以是单一的整体,也可以是由几个元素组合在一起后形成

的刚性构件。内燃机中,由曲轴 2、活塞 4 和连杆 3 组成曲柄滑块机构,如图 1.1(b)所示。曲轴是一个单一的整体构件,同时也是一个运动的整体。而连杆由连杆体 1、连接螺栓 2、螺母 3、连杆头 4 等多个零件刚性连接而成的组成体,形成一个刚性整体,如图 1.3 所示。

#### 4. 零件

零件是组成构件或机构的制造单元。如内燃机曲轴,在内燃机的曲柄滑块机构中是一个运动单元,也是一个制造单元,是构件,也是零件。而组成连杆的连杆体、连杆头、螺栓及螺母则分别是不同的制造单元,属于零件,各零件之间没有相对运动。零件是制造后没有经过组装的物体,因而是组成机器的最小制造单元。构件可以是若干零件的刚性组合体,也可以是单个零件。如一个齿轮既是一个零件,也是一个构件。

机械零件有通用零件和专用零件两大类。通用零件是各类机械中常用的、具有同一功用及性能的零件,例如齿轮、轴承、螺栓、螺母等。专用零件是为特定机械特别制造的零件,例如,内燃机中的曲轴、活塞均属于专用零件。

综上所述,机器由机构组成,机构由构件组成,构件可以是单一的整体,也可以由若干个零件组成。机器和机构统称为机械。构件和零件之间的主要区别是:构件是运动单元,零件是制造单元。

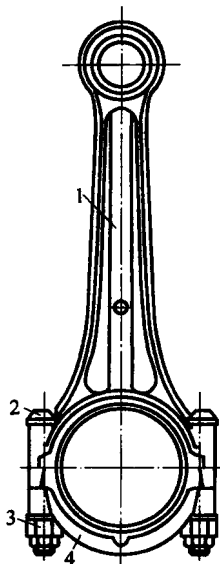


图 1.3 连杆

### 1.1.2 机械设计基础课程学习的内容、特点和任务

机械设计基础是研究有关“机械”基本理论的一门课程,其研究对象为机械。而机械又是机器和机构的总称,所以说机械设计基础是研究机器和机构基本理论的科学。随着科学技术的飞速发展和各学科之间的融合与渗透,机械的内容不断丰富,微小机械、微型机械、仿生机械、生物机械的出现,使机械设计基础研究对象的含义不断拓展。

#### 1. 机械设计基础课程的内容

(1) 机械传动:平面机构的自由度、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、带传动。

(2) 机械连接:螺纹连接、键连接、销连接。

(3) 轴系:滑动轴承、滚动轴承、轴、联轴器、离合器。

(4) 机械系统运动方案设计。

#### 2. 机械设计基础课程的主要特点

(1) “机械设计基础”课程是一门技术基础课程,其与基础课程相比,更接近工程实际;与专业课程相比,有更宽的研究面和更广的适应性。该课程起到承上启下的作用。

(2) 多学科知识的综合运用。机械设计基础是数学、物理学、理论力学、材料力学、工程图学、机械制造基础、金属材料及热处理、公差配合与技术测量等有关的技术基础课程知识的综合运用。

(3) 设计步骤和设计结果的多样性。考虑机械设计的综合性,设计者采用的设计步骤和设计结果都具有多样性。

(4) 设计方法的多样性。在设计机构和零件的过程中,常常需要通过刚度、强度等方面的计算确定构件或零件的一些几何尺寸参数,但计算并非设计的唯一方法和手段。根据给定的运动条件设计机构,常用的设计方法有解析法、实验法和图解法。设计机械、机构、部件和零件的过程中,还需综合考虑结构、工艺、材料选择和经济性等各方面的因素。

### 3. 学习机械设计基础课程的主要任务

- (1) 掌握常用机构的结构、特性等基本知识,并初步具有选用、分析基本机构的能力;
- (2) 掌握通用机械零件的工作原理、特点、应用和简单设计计算方法,并初步具有选用和分析简单机械传动装置的能力;
- (3) 具备运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力;
- (4) 学会总结归纳和创新,能综合运用所学的知识。

## 1.2 机械设计的基本要求和一般程序

### 1.2.1 机械设计的基本要求

机械设计是为了实现机器的某些特定功能要求而进行的创造过程。它包含运用机械设计的基本知识、基本理论和基本方法而进行的开发新的机器设备和改进现有的机器设备两种设计。机械的种类繁多,但其设计的基本要求大致相同,主要包含以下几个方面。

#### 1. 使用要求

人们是为了生产和生活上的需要而设计和制造各种各样的机器,因此,所设计的机器必须满足预定的使用功能,这是设计机器的根本目的,也是选择和确定方案的依据。要正确选择机器的工作原理,正确地设计或选用原动机、传动机构、执行机构以及合理地配置辅助系统。

#### 2. 工作可靠性要求

可靠性是机器在规定的条件下和规定的使用期限内,完成规定功能的能力。现代化机器的复杂性及现代化大规模生产的高生产率,都要求机器具有较高的可靠性。可靠性是衡量机器质量的一个重要指标,提高机器可靠性的最有效的方法是进行可靠性设计。机器可靠性的高低可用可靠度的大小来衡量。从设计机械的角度看,为保证机械工作可靠,主要考虑以下几方面的因素:

(1) 强度。零件的强度指零件在载荷作用下抵抗断裂或者抵抗塑性变形的能力。零件设计时,必须根据零件承受的载荷情况,正确地设计零件结构、选择零件材料,使零件在机械工作过程中具备抵抗断裂和塑性变形的能力。

(2) 刚度。刚度指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。零件刚度对机械的工作性能会产生重要影响,设计时应考虑保证零件有足够的刚度。

(3) 耐磨性。耐磨性指零件在载荷作用下相对运动的接触表面之间的抗磨损能力。零件接触表面的磨损,会削弱零件自身的强度,还会导致零件连接处的间隙增大,影响机械的工作性能。在零件材料和零件连接处的结构设计时,需考虑耐磨性对机械正常工作及其工作性能产生的影响。

(4) 耐热性。耐热性指零件在规定的工作温度环境中抗氧化、抗热变形和抗蠕变的能

力。为保证机械能够在规定的工作温度环境中正常工作,设计零件时,需对其耐热性能进行相应计算,即考虑热变形和热应力等对零件的刚度及强度等产生的影响,以及在高温下保证机械正常工作应采取的措施。

(5) 避免产生共振。机械中,如果某一零件本身的固有频率与激振源的频率重合或成整数倍关系,这些零件就会发生共振(即强烈振动),共振时振幅很大。如果零件强烈振动,会缩短零件和机械的使用寿命,降低机械的工作质量和工作性能,产生比较大的噪声,工作环境恶化。

### 3. 运动和动力性能要求

运动和动力性能是设计机械的重要依据,是考虑的重要因素。设计机械时首先根据运动要求、承载要求以及运动时的力学性能要求,确定机械的工作原理,然后再确定执行机构,随之确定机械的传动方案。

### 4. 经济性要求

机器的经济性是一个综合指标,体现在机器的设计、制造和使用的全过程,包括设计制造经济性和使用经济性等。

#### 1) 提高设计制造的经济性

(1) 采用先进的设计理论和方法,力求参数最优化,以提高设计制造效率,降低设计制造成本。

(2) 合理地选用材料,合理确定零件的结构形状和尺寸,改善零件的结构工艺性,并应用新材料、新结构、新工艺和新技术。

(3) 最大限度地采用标准化、系列化及通用化的零部件。

#### 2) 提高使用的经济性

(1) 提高机器的效率。在方案设计及结构设计时,要从传动机构及执行机构的类型、自动化程度等方面充分考虑提高机器的效率。

(2) 合理地确定机器的寿命。机器的寿命可分为功能寿命、技术寿命和经济寿命三种。机器从开始使用至其主要功能丧失而报废所经历的时间称为功能寿命;机器从开始使用至其因技术落后而被淘汰所经历的时间称为技术寿命;机器从开始使用至其继续使用将导致经济效益显著降低所经历的时间称为经济寿命。在科学技术高速发展的今天,机器的技术寿命、经济寿命远小于功能寿命。要提高机器的使用经济性,就要由其经济寿命来确定机器更新的最佳时间。

(3) 提高维修的经济性。维修能延长机器的使用寿命,但同时也要付出相应的维修费用。在机器的设计阶段,就应该从结构、防护、润滑与密封等方面提高维修的经济性,以尽可能少的、方便的维修换取尽可能多的使用经济效益。

机械设计除上述基本要求外,还有控制操作安全方便的要求,以及机械的造型设计美观、大方及结构紧凑等要求。

## 1.2.2 机械设计的主要内容

机械设计主要包括以下内容:

(1) 确定机器的工作原理,选择合适的机构,拟定合理的设计方案;

(2) 进行运动分析和动力分析,计算作用在各构件上的载荷;

(3) 进行零部件工作能力计算、总体设计和结构设计。

### 1.2.3 机械设计的一般程序

机器是一个复杂的系统。要设计出高质量的机器,就必须有一个科学的设计程序。机械设计过程主要包括计划、方案设计、技术设计和技术文件编制等4个阶段。

#### 1. 计划阶段

在计划阶段,主要是根据市场信息、市场预测或用户要求确定设计任务。设计任务书的具体内容主要包括机器的功能、用途、基本结构形式、设计进度、主要设计参数及技术经济指标等。

#### 2. 方案设计阶段

实现机器的预定功能是机器设计的核心,但实现同一功能的原理方案可有多种,通过创新构思、优化筛选,取得较为理想的功能原理方案。此阶段是机器设计的重要阶段,必须做到科学论证、全面评价,力求获得最佳方案。

#### 3. 技术设计阶段

技术设计的目标是绘出最终的机器总装配图、部件装配图和零件工作图,主要工作有以下几个方面:

- (1) 主要零部件的工作能力设计和结构设计。
- (2) 部件装配草图和总装配草图的设计。
- (3) 主要零件的校核计算。
- (4) 零件工作图设计。
- (5) 绘制最终部件装配图和总装配图。

#### 4. 技术文件编制阶段

通常要编制的技术文件有:机器的设计计算说明书、使用说明书、标准件及易损件明细表等。

## 1.3 机械零件的主要失效形式和设计准则

### 1.3.1 机械零件的主要失效形式

机械零件在规定的时间内和规定的条件下不能完成规定功能的现象,称为失效。机械零件的主要失效形式有以下几种。

#### 1. 断裂

在载荷的作用下,当某一危险截面上的应力超过零件的强度极限时,零件就会发生过载断裂;零件在循环变应力的长期作用下会发生疲劳断裂。疲劳断裂是零件的主要失效形式。

#### 2. 表面失效

表面失效发生在机械零件的工作表面上,其主要形式有磨损、疲劳点蚀和腐蚀,它们都是随工作时间的延续而逐渐发生的失效。作相对运动的零件接触表面都有可能发生磨损;在变接触应力作用下工作的零件表面都有可能发生疲劳点蚀;处于潮湿空气中或与水、气以及其他腐蚀性介质相接触的金属零件,均有可能发生腐蚀。表面失效会影响零件表面精度,

改变零件表面尺寸和形状,使运动性能降低,摩擦增大,能耗增加,严重时会导致零件丧失工作能力。

### 3. 过量变形

机械零件受载荷工作时,必然会发生弹性变形。在允许范围内的微小弹性变形,对机器影响不大。但过量的弹性变形会使零件或机器不能正常工作,有时还会造成较大振动,使零件损坏。如果作用于零件上的应力超过了材料的屈服极限,零件将产生塑性变形。这会造成零件的尺寸和形状改变,破坏零件间的相互位置和配合关系,使零件和机器不能正常工作。

### 4. 非正常工作条件而引起的失效

有些零件只有在一定的条件下才能正常工作,否则就会引起失效。如 V 带传动,只有在传递的有效圆周力小于临界摩擦力时才能正常地工作,否则带传动将发生打滑的失效。

## 1.3.2 机械零件的设计准则

为了保证所设计的机械零件安全、可靠地工作,在进行设计工作之前,应建立相应的设计准则。设计准则的确定应该与零件的失效形式紧密联系起来。同一种零件可能有不同的失效形式,对应于各种失效形式就会有不同的工作能力。根据不同的失效形式建立起来的工作能力的判定条件,称为设计准则。机械零件的设计准则主要有以下几条。

### 1. 强度准则

强度是机械零件首先应满足的基本要求。为了保证零件具有足够的强度,应使零件在载荷作用下其危险截面或工作表面上的工作应力  $\sigma$  或  $\tau$  不超过零件的许用应力  $[\sigma]$  或  $[\tau]$ , 其表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau] \quad (1-1)$$

### 2. 刚度准则

为了保证零件具有足够的刚度,设计时应使零件在载荷作用下产生的弹性变形量  $y$  小于或等于机器工作性能所允许的极限值,即许用变形量  $[y]$ , 其表达式为

$$y \leq [y] \quad (1-2)$$

### 3. 耐磨性准则

耐磨性是指零件抵抗磨损的能力。零件过度磨损会改变其结构形状和尺寸,削弱其强度,降低精度和效率,以致零件失效。因此,设计时应使零件的磨损量不超过允许值。有关磨损的计算,常采用条件性计算,即使接触表面上的正压力  $p$  与  $p v$  值小于或等于许用值  $[p]$  和  $[p v]$ , 其表达式为

$$p \leq [p] \quad (1-3)$$

$$p v \leq [p v] \quad (1-4)$$

式中,  $v$  为零件工作表面的相对滑动速度。

### 4. 散热性准则

在两零件发生剧烈摩擦处会产生大量的热。若散热不良,零件温度升高,从而改变两零件的结合性质,破坏正常润滑条件,使零件不能正常工作,甚至导致金属局部熔融而产生胶合或引起燃烧。要满足散热性准则,就应对发热较大的零部件(如蜗杆传动、滑动轴承等)进行热平衡计算。使工作温度  $t$  不超过许用工作温度  $[t]$ , 其表达式为

$$t \leq [t] \quad (1-5)$$