

普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 机 械 设 计

朱文坚 黄 平 吴昌林 主编

高等教育出版社

## 内容简介

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材。

本教材在编写时贯彻了“加强基础知识、基础理论、基本方法,重视工程设计能力的培养,注意发挥学生的创造性思维”的思路,在以下几方面进行了尝试:(1)按学科分类编写,淡化对具体机械零件的介绍。全书按静强度设计、疲劳强度设计、摩擦学设计、结构设计、标准零件选用和非标准零件设计将内容分成六部分,以突出各零件设计中的共性,便于建立不同零件在设计方法上的联系。(2)加强对机械零部件结构设计内容的介绍。(3)增加当前机械学科的新技术、新工艺、新材料方面的内容。(4)增加设计方法方面的内容,特别是强调多方案设计、优化设计和再设计的思想及其在工程设计中的应用。

本书可作为高等学校机械设计制造及其自动化专业机械设计课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械设计/朱文坚,黄平,吴昌林主编. —北京:高等教育出版社,2005.2

ISBN 7-04-016020-X

I.机... II.①朱...②黄...③吴... III.机械设计—高等学校—教材 IV.TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 004885 号

策划编辑 龙琳琳 责任编辑 陈大力 封面设计 刘晓翔 责任绘图 朱 静  
版式设计 王艳红 责任校对 殷 然 责任印制

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷

开 本 787×960 1/16  
印 张 29  
字 数 540 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>

版 次 年 月第 1 版  
印 次 年 月第 次印刷  
定 价 33.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 16020-00

# 前 言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,是根据教学基本要求,并充分吸取了高校近年来的教学改革经验编写的。

当前,培养适应 21 世纪需要的高素质人才是我国高等院校的重要任务,而由于科技知识的更新速度不断加快,高等院校应把培养学生获取知识的能力作为重点,把学生培养成“厚基础、宽适应、强能力”的复合型人才。编写本教材的思路是“加强基础知识、基础理论、基本方法,重视工程设计能力的培养,注意发挥学生的创造性思维”。为此在编写教材时尝试进行了下面的工作:

(1) 按学科分类编写,淡化对具体机械零件的介绍,这是本书的最大特色之一。全书按静强度设计、疲劳强度设计、摩擦学设计、结构设计、标准零件的选用和非标准零件的设计分成六部分,以突出各零件设计中的共性,便于建立不同零件在设计方法上的联系。本书另一特点是将许多教材中安插在正文的大量表格和线图分类安排在附录中,这样减少了教学时数,也突出了主要教学内容。这些改革将有利于培养学生的逻辑思维和自学能力,提高学生的素质,并且加强了本课程的条理性、系统性。

(2) 加强了对机械零件、部件结构设计内容的介绍。由于本课程涉及很多结构设计内容,学生对一些设计性、综合性较强的内容难以掌握。为此,本教材在详细论述结构设计的基本要求、基本原则、基本原理的基础上,介绍了提高强度和刚度的结构设计及其设计方法,然后以具体零部件为例进行结构设计,改变目前的教材只分散介绍具体零部件结构设计的情况,使学生能较系统地掌握结构设计的有关知识。

(3) 增加了当前有关机械学科的新技术、新工艺、新材料方面的内容。如弹性啮合与摩擦耦合传动,是作者近年提出并已成功应用的一种新型机械传动方式。本教材简单介绍了该传动的的基本结构、工作原理及应用。这些相关内容的引入,拓宽了学生的知识面。

(4) 增加了设计方法方面的内容,特别是强调了多方案设计、优化设计和再设计的思想及其在工程设计中的应用。

本教材分六篇共 14 章,参加本书编写工作的有朱文坚(第 1、2 章、第 9 章 9.3 节、第 11、12 章),刘峰(第 3 章、第 4 章 4.1、4.2 节),谢宋良(第 5 章、第 6 章 6.1 节),黄平(4.3~4.5 节、6.2 节、第 8、9 章部分、第 10 章、第 13 章部分、第 14

章部分),徐晓(第 13、14 章),陈东(第 7 章 7.1、7.2 节),陈杨枝(第 7 章 7.3 节),全书由朱文坚、黄平、吴昌林担任主编。李杞仪教授审阅了全书,在此表示感谢。

本书可作为高等学校机械设计制造及其自动化专业机械设计课程教材,也可供有关工程技术人员参考。本教材作为教学改革的一项尝试,一定会有不足之处,加上编者的水平和时间有限,错误之处希望读者随时予以批评指正。

作者

2003 年 1 月

# 目 录

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <b>第一篇 总论</b>                | <b>1</b>  |
| <b>第 1 章 绪论</b>              | <b>3</b>  |
| 1.1 机器的基本组成要素                | 3         |
| 1.2 本课程研究对象、性质和任务            | 3         |
| <b>第 2 章 机械零件的设计</b>         | <b>5</b>  |
| 2.1 机械零件的失效形式和设计准则概述         | 5         |
| 2.2 机械零件设计的基本要求和一般程序         | 8         |
| 2.3 机械零件材料的选用原则及常用材料         | 10        |
| 习题                           | 14        |
| <b>第二篇 静强度设计</b>             | <b>15</b> |
| <b>第 3 章 机械零件中的载荷、静应力和变形</b> | <b>17</b> |
| 3.1 机械零件的载荷                  | 17        |
| 3.2 机械零件的应力                  | 18        |
| 3.3 机械零件的变形                  | 24        |
| 习题                           | 30        |
| <b>第 4 章 典型机械零件的静强度设计</b>    | <b>32</b> |
| 4.1 螺纹连接件的静强度设计与计算           | 32        |
| 4.2 键连接的静强度设计与计算             | 50        |
| 4.3 弹簧的受力、变形与刚度计算            | 56        |
| 4.4 链传动的静强度计算                | 60        |
| 4.5 滚动轴承静强度计算                | 61        |
| 4.6 轴的静强度和刚度计算               | 62        |
| 习题                           | 66        |
| <b>第三篇 疲劳强度设计</b>            | <b>71</b> |
| <b>第 5 章 机械零件的疲劳强度计算</b>     | <b>73</b> |
| 5.1 变应力的种类和特征                | 73        |
| 5.2 疲劳极限与极限应力线图              | 76        |

|               |                               |            |
|---------------|-------------------------------|------------|
| 5.3           | 影响机械零件疲劳强度的因素 .....           | 81         |
| 5.4           | 稳定变应力下机械零件的疲劳强度计算 .....       | 82         |
| 5.5           | 规律性不稳定变应力时机械零件的疲劳强度计算 .....   | 86         |
| 5.6           | 机械零件的接触疲劳强度 .....             | 89         |
|               | 习题 .....                      | 91         |
| <b>第 6 章</b>  | <b>齿轮传动与蜗杆传动疲劳强度设计 .....</b>  | <b>92</b>  |
| 6.1           | 齿轮传动的疲劳强度设计 .....             | 92         |
| 6.2           | 蜗杆传动的疲劳强度设计 .....             | 125        |
|               | 习题 .....                      | 133        |
| <b>第 7 章</b>  | <b>链传动、轴与滚动轴承疲劳强度设计 .....</b> | <b>136</b> |
| 7.1           | 套筒滚子链传动的疲劳强度设计 .....          | 136        |
| 7.2           | 轴的疲劳强度设计 .....                | 143        |
| 7.3           | 滚动轴承疲劳寿命设计 .....              | 145        |
|               | 习题 .....                      | 161        |
| <b>第四篇</b>    | <b>摩擦学设计 .....</b>            | <b>163</b> |
| <b>第 8 章</b>  | <b>摩擦学设计方法 .....</b>          | <b>165</b> |
| 8.1           | 摩擦状态 .....                    | 165        |
| 8.2           | 摩擦 .....                      | 169        |
| 8.3           | 磨损 .....                      | 170        |
| 8.4           | 润滑 .....                      | 175        |
|               | 习题 .....                      | 184        |
| <b>第 9 章</b>  | <b>机械零件摩擦设计 .....</b>         | <b>186</b> |
| 9.1           | 带传动设计 .....                   | 186        |
| 9.2           | 螺纹连接设计 .....                  | 200        |
| 9.3           | 螺旋传动设计 .....                  | 206        |
| 9.4           | 弹性啮合与摩擦耦合传动简介 .....           | 214        |
|               | 习题 .....                      | 219        |
| <b>第 10 章</b> | <b>机械零件润滑设计 .....</b>         | <b>221</b> |
| 10.1          | 非液体摩擦滑动轴承设计计算 .....           | 221        |
| 10.2          | 液体动力润滑径向滑动轴承设计计算 .....        | 225        |
| 10.3          | 典型机械传动中的润滑 .....              | 235        |
| 10.4          | 密封件与密封 .....                  | 240        |
|               | 习题 .....                      | 245        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第五篇 结构设计</b>           | 247 |
| <b>第 11 章 结构设计概论</b>      | 249 |
| 11.1 机械结构设计的原则和内容         | 249 |
| 11.2 结构设计的基本原理            | 251 |
| 11.3 提高强度和刚度的结构设计         | 255 |
| 11.4 结构设计方法               | 266 |
| 11.5 结构的工艺设计              | 269 |
| 习题                        | 279 |
| <b>第 12 章 常用机械零件的结构设计</b> | 283 |
| 12.1 轮状零件的结构设计            | 283 |
| 12.2 轴的结构设计               | 289 |
| 12.3 机架类零件的结构设计           | 293 |
| 12.4 机械部件的结构设计            | 297 |
| 习题                        | 322 |
| <b>第六篇 常用机械零件的类型和选择</b>   | 325 |
| <b>第 13 章 标准零件的类型和选用</b>  | 327 |
| 13.1 螺纹与螺纹连接              | 327 |
| 13.2 键与花键                 | 335 |
| 13.3 销                    | 336 |
| 13.4 滚动轴承                 | 336 |
| 13.5 带                    | 345 |
| 13.6 链                    | 350 |
| 13.7 联轴器                  | 352 |
| 13.8 离合器                  | 362 |
| 习题                        | 366 |
| <b>第 14 章 非标准零件的类型和选用</b> | 369 |
| 14.1 齿轮                   | 369 |
| 14.2 蜗杆与蜗轮                | 372 |
| 14.3 滚子链链轮                | 380 |
| 14.4 滑动轴承                 | 382 |
| 14.5 弹簧                   | 389 |
| 习题                        | 396 |
| <b>附录</b>                 | 397 |
| 一、常用金属材料的性能、用途表格          | 397 |
| 二、常用润滑油和润滑脂性能表格与线图        | 399 |

---

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 三、螺栓设计常用表格 .....       | 401 |
| 四、螺旋传动设计常用表格 .....     | 402 |
| 五、键及弹簧设计常用表格与线图 .....  | 403 |
| 六、齿轮传动设计常用表格与线图 .....  | 404 |
| 七、蜗杆传动设计常用表格与线图 .....  | 414 |
| 八、轴设计常用表格 .....        | 419 |
| 九、滚动轴承设计常用表格 .....     | 420 |
| 十、链传动设计常用表格与线图 .....   | 422 |
| 十一、带传动设计常用表格与图线 .....  | 426 |
| 十二、滑动轴承设计常用表格与线图 ..... | 436 |
| 十三、离合器设计常用表格与线图 .....  | 444 |
| 十四、机械设计常用名词中英文对照 ..... | 446 |
| 参考文献 .....             | 451 |

---

# 第一篇 总 论

---

机械的发展是人类文明和社会进步的象征。早在远古时代,人类已经开始使用石块和木棒谋生,并用蚌壳和兽骨制成简单的工具捕猎动物。人类的祖先在古代已开始使用简单的机械,例如在 170 万年前已使用石器,在 3 万年前已使用了箭和原始的犁、刀、锄等;在 4 000 多年前,已制造和使用比原始机械复杂和先进的古代机械,如记里鼓车、独轮车、水运仪象台、地球仪、指南车、纺纱机、水力纺纱机、火枪、火炮、缫丝机、走马灯、罗盘和罗盘针、造纸技术等。我国早在春秋战国时期已使用青铜合金,我国是世界上最早发明生铁冶炼技术、生铁柔化技术、炒钢法、灌钢法的国家。18 世纪蒸汽机的发明和广泛应用使动力机械代替了人力和畜力,其提供的巨大动力促使能源、冶金、交通发生了翻天覆地的变化。19 世纪电动机、发电机、电气设备的大量应用使生产过程向着机械化、自动化的方向发展。20 世纪以来,随着计算机的发明、应用和普及,加速了机械学科的发展。实行改革开放政策以来,我国机械工业和机械科学技术取得了巨大的成就。近 20 年来,微电子技术、信息技术、机电一体化技术的迅猛发展和互相渗透,使机械工业向自动化、柔性化、智能化方向发展。近十多年来,科学技术飞跃发展及各学科之间的相互交叉和渗透,以及新材料、新能源、新产品不断出现,促进了机械设计理论和方法的发展。

在本篇中,首先介绍机器的基本组成要素,引出了机器、机构、零件以及通用零件和专用零件等概念。在此基础上,提出了机械设计课程研究对象、性质和任务。在给出机械零件的失效形式和设计准则之后,对机械零件设计的基本要求、设计一般程序、机械零件的材料及其选用原则进行总体上的介绍。

# 第1章 绪 论

## 1.1 机器的基本组成要素

各种机器有不同的功能和外形,这些机器通常含有机械、电气、液压、气动、润滑、冷却、控制、监测等系统,其中机械系统是机器的主要组成系统。机械系统由若干机构组成,每个机构由若干零件组成,因此机器的基本组成要素是机械零件。机械零件在机器中或按确定的位置相互连接,或按给定的规律作相对运动,共同为完成机器的功能而发挥各自的作用。通常机械零件可分为两大类:一类是在各种机器中经常都能用到的零件,叫做通用零件,如螺钉、齿轮、链轮等;另一类是在特定类型的机器中才能用到的零件,叫做专用零件,如往复式活塞内燃机的曲轴等。机器中通常把一组协同工作的零件所组成的独立加工或独立装配的组合体叫部件,如减速器、离合器等。机械零件的性能对机器的性能有较大影响,因此正确设计和合理选择机械零件,是成功设计满足功能要求机器的基本条件。

通过教学实践发现,学生在以往的机械设计课程学习时,感觉到难以把握要点,因此学习起来困难很大。多数同学反映:这门课程的系统性和规律性不强,内容较多和杂乱。本书根据各零件的设计原理和机械零件设计中所遵循的不同学科的规律,将原来讲授的机械设计内容共分成6篇14章。按不同的设计方法分别以静强度设计篇、疲劳强度设计篇、摩擦学设计篇、结构设计篇和常用机械零件的类型和选择篇进行划分。通过这样的分类,期望将学生以往所学的基础知识与机械设计的具体事例更好地联系起来,达到使学习者容易理解和记忆,并且能更好地了解为什么对不同的零件要采用不同的设计准则,以及掌握这些设计准则所依据的理论基础知识的来源。

## 1.2 本课程研究对象、性质和任务

机械设计是机械类专业学生必须学习的一门重要的技术基础课,它主要研究通用零件的基本设计理论与方法,并培养学生具有设计一般机械的能力。

本课程的主要任务:

1. 培养学生逐步树立正确的设计思想,了解和贯彻执行国家当前的有关技术经济政策。

2. 使学生掌握设计机械所必需的基本知识、基本理论和基本技能,具有初步设计机械传动装置和一般机械的能力。

3. 培养学生具有应用标准、规范、手册及其它技术资料的能力。

4. 培养学生掌握典型机械零件的实验方法,获得实验技能的基本训练。

5. 了解机械设计的发展动态,学习各种现代设计理论和方法。

本课程的学习方法:

由于机械设计课程是一门以一般通用零件的设计为核心的设计性课程,它在从基础理论课学习逐步进入到专业课学习的过程中,起着承上启下的作用。由于课程涉及的内容很多,相当部分内容还涉及实际的设计实践,而且很多问题都是多方案及多解答的,与具有严密逻辑演绎推理的一般理论课程相比,本课程显得系统性、规律性不强,学生学习本课程时,往往感到很难入手。为了帮助学生更好地学习本课程内容,现将本课程的学习方法简述如下:

1. 紧密联系生产实践,联系整体机械系统进行分析

本课程主要研究通用零、部件的工作原理和设计计算方法,故学习过程中应紧密联系生产实际,了解机器的工况与要求,从整体机械系统分析入手,才能设计出满足生产实际要求的机械零部件。

2. 逐步培养分析解决问题的能力和方法

学习本课程时,要多联系工程实际问题,本课程分析和解决问题的思路和方法,也正是解决工程实际中常用的思路和方法。工程实际问题是一个复杂的系统,它涉及多方面的内容,需要多方面的知识和经验才能解决。因此要培养能灵活运用基本概念、基本理论来解决工程实际问题的能力。

3. 掌握每章的重点及分析处理问题的思路和基本方法

本课程的基本内容是机械零部件的设计计算。学习这些零件时,其分析问题的思路大致为:分析该零件的工作原理及运动特点,进行受力分析,然后确定该零件工作时可能出现的主要失效形式并建立该工况下零件不产生失效的设计准则,最后导出设计(或校核)公式,并计算(或校核)该零件的主要几何尺寸(或许用应力),进行结构设计并绘制零件工作图。

# 第 2 章 机械零件的设计

## 2.1 机械零件的失效形式和设计准则概述

### 2.1.1 机械零件的主要失效形式

机械零件在设计预定的期间内,在规定条件下,不能完成正常的功能,称为失效。机械零件失效的形式很多,主要有整体断裂、塑性变形、腐蚀、磨损、胶合和接触疲劳。一般设计机械零件的判据有静强度、疲劳强度和摩擦磨损等。

#### 1. 静强度失效

机械零件在受拉、压、弯、扭等外载荷作用时,由于某一危险截面上的应力超过零件的强度极限而发生断裂或破坏。例如,螺栓受拉后被拉断和键或销的剪断或压溃等均属于此类失效。

此外,当作用于零件上的应力超过了材料的屈服极限,则零件将产生塑性变形。塑性变形将导致精度下降或定位不准等,严重影响零件的正常工作,因此也属于失效。

#### 2. 疲劳强度失效

大部分机械零件是在变应力条件下工作的,变应力的不断作用可以引起零件疲劳破坏而导致失效。另外,零件表面受到接触变应力长期作用也会产生裂纹或微粒剥落的现象。疲劳破坏是随工作时间的延续而逐渐发生的失效形式,是引起机械零件失效的重要原因。例如,轴受载后由于疲劳裂纹扩展而导致断裂,齿轮齿根的疲劳折断和齿面疲劳点蚀以及链条的疲劳断裂等都是典型的疲劳破坏。

机械零件的静强度失效是由于应力超过了屈服极限,并在断裂发生之前,往往出现很大的变形,因此静强度失效往往是可以发现,并可以预知的。而疲劳强度失效的发生则是突然的,很难事先预知,因此它危害更大。

#### 3. 摩擦学失效

摩擦学失效主要是腐蚀、磨损、打滑、胶合和接触疲劳。腐蚀是发生在金属表面的一种电化学或化学侵蚀现象,其结果将使零件表面产生锈蚀而使零件的抗疲劳能力降低。磨损是两个接触表面在作相对运动的过程中,表面物质丧失

或转移的现象。胶合是由于两相对运动表面间的油膜被破坏,在高速、重载的工作条件下,发生局部粘在一起的现象,当两表面相对滑动时,相粘接的部位被撕破而在表面上沿相对运动方向形成沟痕,称为胶合。接触疲劳是受到接触变应力长期作用的表面产生裂纹或微粒剥落的现象。有些零件只有在满足某些工作条件下才能正常工作。例如,液体摩擦的滑动轴承,只有在存在完整的润滑油膜时才能正常地工作,否则滑动轴承将发生过热、胶合、磨损等形式的失效,属于摩擦学失效。又如,带传动的打滑和螺纹的微动磨损也是摩擦学失效的例子。

#### 4. 其它失效

除了以上指出的主要失效形式,机械零件还有其它一些失效形式,如变形过大的刚度失效、不稳定失效等。此外,机械零件的具体失效形式还取决于该零件的工作条件、材质、受载状态及所产生的应力性质等多种因素。即使同一种零件,由于工作情况及机械的要求不同,也可能出现多种失效形式。例如齿轮传动可能出现轮齿折断、磨损、齿面疲劳点蚀、胶合或塑性变形等失效形式。

### 2.1.2 机械零件的设计准则

#### 1. 静强度准则

静强度是保证机械零件在静载荷工况条件下能正常工作的基本要求。零件的强度不够,就会出现整体断裂或塑性变形等失效形式而丧失其工作能力,甚至导致安全事故。强度准则就是指零件中的最大应力小于或等于许用应力,即

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (2.1a)$$

或

$$\tau \leq [\tau] \quad (2.1b)$$

式中,  $\sigma$ 、 $\tau$ ——零件的工作正应力和切应力;

$[\sigma]$ 、 $[\tau]$ ——材料的许用正应力和许用切应力,它们可以通过将材料的屈服极限(塑性材料)或是强度极限(脆性材料)除以适当的安全系数得到。

#### 2. 疲劳强度准则

疲劳强度是保证机械零件在变载荷工况条件下,能正常工作一定时间的基本要求。零件疲劳强度不够,就会在其工作寿命期间内出现疲劳断裂、疲劳点蚀等失效形式而丧失工作能力,甚至导致安全事故。疲劳强度准则与式(2.1)类似,但是疲劳强度的许用应力要按下式计算

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S_{\sigma}} \quad (2.2a)$$

或

$$[\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{S_{\tau}} \quad (2.2b)$$

式中,  $S_\sigma$ 、 $S_\tau$ ——疲劳强度的正应力和切应力的安全系数;

$\sigma_{\text{lim}}$ 、 $\tau_{\text{lim}}$ ——材料的疲劳极限正应力和切应力。

特别需要指出,按疲劳强度设计时,因为载荷是变化的,零件的工作应力不再是简单的正应力或切应力,除了必须考虑应力的均值和变化幅值的大小外,还必须考虑载荷变化规律的影响。另外,疲劳强度与许多因素(如载荷性质、零件尺寸、表面加工精度、应力集中情况等)有关,因此在这类机械零件的设计过程中必须根据具体工况加以修正(有关内容详见下面的具体章节)。

### 3. 摩擦学设计准则

耐磨性是指作相对运动零件的工作表面抵抗磨损的能力。机械零件磨损后,将改变其尺寸与形状,降低机械的工作精度,削弱其强度。据统计,由于磨损而导致失效的零件约占全部报废零件的80%。

由于目前对磨损的计算尚无可靠、定量的计算方法,因此常采用条件性计算,主要是验算压强  $p$  不超过许用值,以保证工作面不致产生过度磨损;另外,验算压强和速度乘积  $pv$  值不超过许用值,以限制单位接触表面上单位时间内产生的摩擦功不致过大,可防止发生胶合破坏。有时还需验算工作速度  $v$ 。这些准则可写成

$$p \leq [p] \quad (2.3a)$$

$$pv \leq [pv] \quad (2.3b)$$

$$v \leq [v] \quad (2.3c)$$

式中,  $p$ ——工作表面的压强,MPa;

$[p]$ ——材料的许用压强,MPa;

$v$ ——工作速度,m/s;

$[pv]$ —— $pv$ 的许用值,MPa·m/s;

$[v]$ ——工作速度的许用值,m/s。

### 4. 其它准则

#### (1) 刚度准则

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。若零件刚度不够,其弯曲挠度或扭转角超过允许的限度后,将影响机械系统正常工作。例如车床主轴的弹性变形过大,将影响加工精度;齿轮轴的挠度过大,将影响一对齿轮的正确啮合,并会增加载荷沿齿宽分布的不均匀性。

机械零件在载荷作用下所产生的弹性变形量应小于或等于机器工作时所允许的弹性变形量的极限值,即

$$y \leq [y] \quad (2.4a)$$

$$\theta \leq [\theta] \quad (2.4b)$$

$$\varphi \leq [\varphi] \quad (2.4c)$$

式中,  $y, \theta, \varphi$ ——零件工作时的挠度、转角和扭转角;  
[ $y$ ] [ $\theta$ ] [ $\varphi$ ]——零件的许用挠度、许用转角和许用扭转角。

## (2) 可靠性准则

满足强度要求的一批完全相同的零件,在规定的工作条件下和规定的使用期限内,并非所有零件都能完成规定的功能,必有一定数量的零件会丧失工作能力而失效。机械零件在规定的工作条件下和规定的使用时间内完成规定功能的概率,称为它们的可靠度。可靠度是衡量机械零件可靠性的一个特征量,零件的可靠度本身是一个时间的函数。为了保证所设计的零件具有所需的可靠度,就要对零件进行可靠性设计。

## 2.2 机械零件设计的基本要求和一般程序

### 2.2.1 机械零件设计的基本要求

#### 1. 强度

机械零件的强度不够,就会在工作中发生断裂或不允许的残余变形等。因此具有适当的强度是设计机械零件时必须满足的最基本要求。通常可以采用以下的措施来提高机械零件的强度:

- (1) 采用强度高的材料。
- (2) 使零件有足够的截面尺寸。
- (3) 合理设计零件的截面形状,以增大截面的惯性矩。
- (4) 采用热处理和化学处理的方法来提高材料的机械强度特性。
- (5) 提高运动零件的制造精度,以降低工作时的动载荷。
- (6) 合理地配置机器中各零件的相互位置,以降低作用于零件上的载荷。

#### 2. 刚度

机械零件在工作时所产生的弹性变形量不超过允许的限度,就满足了刚度要求。通常只有当弹性变形过大,会影响机器工作性能的零件(如机床主轴、导轨等),才需要满足这项要求。对于这类零件,设计时除了要作强度计算外,还必须作刚度计算。实践证明,能满足刚度要求的零件,通常其强度总是足够的。一般可以采用以下的措施来提高机械零件的刚度:

- (1) 增大零件截面尺寸或增大截面的惯性矩。
- (2) 缩短支承跨距或采用多支点结构,以减小挠曲变形。
- (3) 增大贴合面以降低压力,可提高接触刚度。
- (4) 采用精加工以降低表面不平度。

#### 3. 寿命

机械零件不发生失效,并能正常工作所延续的时间称零件的寿命。

影响零件寿命的主要因素有:材料的疲劳、腐蚀以及相对运动零件接触表面的磨损等。

#### 4. 可靠性

对于绝大多数的机械来说,失效的发生都是随机性的。造成失效具有随机性的原因,主要是由于零件所受的载荷、环境、温度等工况条件是随机变化的,零件本身的物理及力学性能也是随机变化的,因此为了提高零件的可靠性,应当在工作条件和零件性能两个方面使其随机变化尽可能地小。此外,在使用中加强维护和对工作条件进行监测,也可以提高零件的可靠性。

#### 5. 结构工艺性

机械零件应具有良好的结构工艺性,以便于加工和装配。为此,应对机械零件进行合理而正确的结构设计;此外零件的结构工艺性还应从毛坯制造、机械加工和装配几个生产环节来综合考虑。

#### 6. 经济性

机械零件的经济性主要表现在零件本身的生产成本上。设计时应力求设计出成本最低的零件。零件的成本包括材料的消耗、零件的加工制造等。设计时尽量采用简单的零件结构以减少加工工时,选择适当的材料(如用廉价材料代替贵重材料)和合理的工艺;尽量采用标准件等,都将对降低零件成本有显著的作用。

## 2.2.2 机械零件设计的一般程序

不同种类的机械零件,其设计计算方法不同,设计步骤亦不同,通常可按图2.1所示的设计步骤进行。

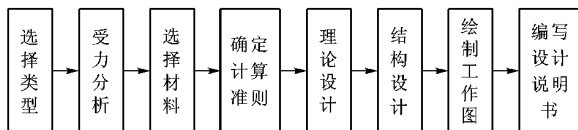


图 2.1 机械零件设计步骤

#### 1. 选择类型

主要根据工况条件、载荷性质及尺寸大小选择零件的类型。

#### 2. 受力分析

通过受力分析求出作用在零件上的载荷的性质、大小、方向,以便进行设计计算。

#### 3. 选择材料

根据零件工况条件及受载情况,选择合适的材料及热处理方法,确定材料的硬度和许用应力。

#### 4. 确定计算准则

分析机械零件的失效形式,确定其设计计算准则。

#### 5. 设计计算

根据设计准则得到设计或校核计算公式,确定机械零件的主要几何尺寸及参数。如螺栓的小径,齿轮的齿数、模数,轴的最小直径等。

#### 6. 结构设计

结构设计即将机械零件的功能转化为具体结构的设计过程。设计中应考虑零件的强度、刚度、加工和装配工艺性等要求,使设计的零件满足尺寸小、重量轻、结构简单等基本要求。

#### 7. 绘制工作图

工作图必须符合制图标准,要求尺寸齐全并标上必要的尺寸公差、形位公差、表面粗糙度及技术条件。

#### 8. 编写设计计算说明书

将设计计算资料整理成设计计算说明书,作为技术文件存档。

## 2.3 机械零件材料的选用原则及常用材料

### 2.3.1 机械零件材料的选用原则

从各种各样的材料中选择出适用的材料,是一个较复杂的技术经济问题,通常主要考虑以下三方面的要求。

#### 1. 使用要求

满足使用要求是选择材料的最基本原则。使用要求通常包括零件所受载荷大小、性质及其应力状况。若零件尺寸取决于强度,且尺寸和重量又受到限制时,应选用强度较高的材料或强度极限与密度的比值较高的材料;承受拉伸载荷的零件宜选钢材;承受压缩载荷的零件宜选铸铁;受冲击载荷的零件,宜选用韧性好的材料;承受静应力的零件,宜选用屈服极限较高的材料;在变应力条件下工作的零件,宜选用疲劳强度较高的材料。若零件尺寸取决于刚度,且尺寸重量受到限制时,应选用弹性模量较大的材料或弹性模量与密度的比值较高的材料。若零件的尺寸取决于接触强度时,应选用可进行表面强化处理的材料,如齿轮齿面经渗碳、渗氮或碳氮共渗等热处理后,其接触强度比正火或调质处理的钢大为提高。对在滑动摩擦条件下工作的零件,应选用减摩性能好的材料。在腐蚀介质中工作的零件应选用耐腐蚀的材料。对于重要零件,应选用综合性能较好的