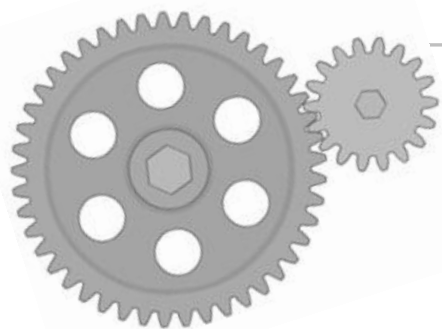


高等职业本科教育机械工程类精品规划教材

# 机械设计



主 编 柳光利 杨 阳 郑宗慧

副主编 张海秀 李 湘 雷海峰

李望飞 郑宏伟

主 审 林昌华

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

# 前 言

PREFACE

本书是根据职业本科教育的培养目标和教学特点，在参考国内几本重要的机械设计教材的基础上，遵循适用、够用的原则编写而成的。本书的编写指导思想是以培养学生的综合设计能力为目的，以零部件受力分析为主线，以通用机械零部件工作能力设计和结构设计为主要内容，着重培养学生的工程分析能力和创新能力。

本书共分为 11 章，主要内容如下：第 1 章为机械设计总论；第 2 章和第 3 章为常用连接的设计；第 4~7 章论述了常用机械传动的特性和设计方法；第 8~11 章为轴系零部件的设计。为了更好地适应职业本科院校学生的特点与需求，编者在编写书的过程中重点考虑以下几方面问题：

（1）专设了机械设计总论一章，从整机概念出发，详细分析了机器从功能设计到实体实现的全过程，探讨了机械设计中一些共性的内容。

（2）引出公式时，在说明获得途径和思路的前提下，尽可能地减少公式推导过程，而将重点放在分析和解决实际工程问题上。同时，采用最新的标准和资料，以培养学生通过查询手册和标准进行规范设计的习惯。

（3）对各类零部件都给出了详细的计算实例，对较复杂零件给出了工作图作为示例，以增强本书的应用性。

（4）删繁就简。在不破坏课程系统性和完整性的前提下，精简了一些与其他先修课程重复的内容。

本书由重庆机电职业技术大学柳光利、杨阳、郑宗慧担任主编，重庆机电职业技术大学张海秀、李湘、雷海峰和重庆三峡职业学院李望飞、重庆信息技术职业学院郑宏伟任副主编。具体分工如下：绪论、第3章、第6章和第7章由柳光利编写，第1章和第11章由杨阳编写，第4章和第8章由郑宗慧编写，第2章、第5章、第9章和第10章由张海秀、李湘、雷海峰、李望飞、郑宏伟编写。全书由重庆机电职业技术大学林昌华教授主审并提出宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

本书内容深入浅出，实践性强，可以作为高等院校、高等职业技术学院机械专业学生使用。由于编者水平有限，时间仓促，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请不吝指正。

**编者**

2021年1月

# 目 录

CONTENTS

绪 论 .....	001
0.1 本课程的性质和任务 .....	001
0.2 本课程的研究对象及主要内容 .....	001
0.3 如何学习本课程 .....	002
第 1 章 机械设计总论 .....	003
1.1 机器的组成 .....	003
1.2 机械设计的基本要求和一般程序 .....	004
1.3 机械零部件设计 .....	005
1.4 机械零件的材料及其选用 .....	009
1.5 机械设计中的标准化、系列化和通用化 .....	011
1.6 现代机械设计方法 .....	012
思考与习题 .....	014
第 2 章 螺纹连接和螺旋传动 .....	015
2.1 螺纹的基本类型和参数 .....	015
2.2 螺纹连接的种类和标准连接件 .....	017
2.3 螺纹连接的预紧与防松 .....	022
2.4 螺栓连接的强度计算 .....	024
2.5 螺栓组设计 .....	032
2.6 提高螺纹连接强度的措施 .....	039
2.7 螺旋传动 .....	041
思考与习题 .....	044

第 3 章 轴毂连接 .....	046
3.1 键连接 .....	046
3.2 花键连接 .....	051
3.3 无键连接 .....	053
3.4 销连接 .....	055
思考与习题 .....	057
第 4 章 带传动 .....	059
4.1 带传动的工作原理和传动形式 .....	059
4.2 V 带和 V 带轮 .....	061
4.3 带传动的受力分析和应力分析 .....	065
4.4 普通 V 带传动的设计计算 .....	069
4.5 带传动的张紧 .....	076
思考与习题 .....	079
第 5 章 链传动 .....	080
5.1 概 述 .....	080
5.2 滚子链链条和链轮 .....	081
5.3 链传动的运动分析和受力分析 .....	083
5.4 滚子链传动的设计计算 .....	085
5.5 链传动的布置、张紧和润滑 .....	089
思考与习题 .....	091
第 6 章 齿轮传动 .....	092
6.1 概 述 .....	092
6.2 齿轮传动的失效形式 .....	093
6.3 载荷影响系数 .....	096
6.4 齿轮传动设计 .....	100
6.5 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算 .....	105
6.6 标准斜齿圆柱齿轮传动强度计算 .....	117
6.7 标准锥齿轮及其传动 .....	124
6.8 齿轮传动的效率和润滑 .....	128

6.9 齿轮的结构设计 .....	130
思考与习题 .....	133
第7章 蜗杆传动 .....	135
7.1 蜗杆传动的类型 .....	135
7.2 圆柱蜗杆传动的主要参数和尺寸计算 .....	139
7.3 蜗杆传动的主要失效形式和材料选择 .....	143
7.4 普通圆柱蜗杆传动承载能力计算 .....	145
7.5 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡 .....	149
7.6 圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计 .....	152
思考与习题 .....	156
第8章 滑动轴承 .....	158
8.1 滑动轴承的主要结构形式 .....	158
8.2 轴瓦结构 .....	160
8.3 滑动轴承的失效形式、常用材料及润滑剂的选用 .....	163
8.4 非完全液体润滑滑动轴承的设计 .....	168
思考与习题 .....	170
第9章 滚动轴承 .....	171
9.1 概 述 .....	171
9.2 滚动轴承的主要类型及其代号 .....	172
9.3 滚动轴承支承结构和设计 .....	178
9.4 滚动轴承的计算 .....	191
9.5 计算示例 .....	198
思考与习题 .....	200
第10章 联轴器、离合器和制动器 .....	202
10.1 概 述 .....	202
10.2 联轴器的种类与特性 .....	202
10.3 离合器 .....	212
10.4 制动器 .....	220
思考与习题 .....	222

第 11 章 轴 .....	223
11.1 概 述 .....	223
11.2 轴的材料 .....	226
11.3 轴的结构设计 .....	227
11.4 轴的计算 .....	244
思考与习题 .....	251
参考文献 .....	255



# 绪 论

## 0.1 本课程的性质和任务

机械设计课程是培养学生具有机械设计能力的一门技术基础课程，面向以机械学为主干学科的各专业学生。这门课程着重传授机械设计的基本知识、基本理论和基本方法，带领学生综合运用已学过的高等数学、机械制图、理论力学、材料力学、工程材料及热处理、机械原理、机械制造基础以及机械设计精度等多方面的知识来解决一般通用的机械零、部件的设计问题。

本课程的主要任务是通过理论学习、实验和课程设计综合实践培养学生：

- (1) 树立正确的设计思想并勇于创新探索。
- (2) 掌握通用机械零部件的设计原理、方法和机械设计的一般规律，具有机械系统的综合设计能力，能进行一般机械传动装部件和简单机械装置的设计。
- (3) 具有应用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力。
- (4) 掌握典型的机械零件的试验方法，获得实验技能的基本训练。
- (5) 了解机械工程学科及机械设计方向的国内外发展动态。

## 0.2 本课程的研究对象及主要内容

本课程主要研究一般尺寸和常用工作参数下的通用零部件的设计，包括它们的基本设计理论和方法以及技术资料、标准的应用。通用零件是指在一般机械中经常用到的机械零件，如齿轮、螺栓、滚动轴承等。曲轴、螺旋桨、活塞等在某些机械中专用的零件称为专用零件。专用零件、部件和在特殊工作条件下（如高温、高压、高速等）及有特殊要求（结构、体积等）的通用零部件则在有关专业课中研究，不属于本书讨论的范围。

本书讨论的具体内容包括：

- (1) 机械设计总论——机械设计的要求及一般过程，机械零部件的设计要求、设计准则及设计方法，材料选择以及机械中的摩擦、磨损、润滑等机械设计中具有基础性、共同性的问题。
- (2) 常用连接——螺纹连接，键、花键、无键连接，销连接以及其他连接。
- (3) 机械传动——带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动。
- (4) 轴系零、部件——滑动轴承、滚动轴承、联轴器与离合器以及轴。

### 0.3 如何学习本课程

机械设计是机械类各专业的一门主干技术基础课程，在整个课程体系里面起着承上启下的作用。在学习本课程时，应注意以下几个特点：

(1) 系统性。一个好的机械设计需要满足多方面的要求，如使用性要求、结构工艺性要求、经济性要求、可靠性要求，同时还可能需要满足质量小，便于运输、不污染环境等。这些要求有些情况下是难以完全满足的。因此，设计者必须全面考虑，综合平衡，这就要求设计者具有系统的观点，要求设计者能正确确定设计要求，合理选择总体设计方案，掌握每个机械零件的特性，综合运用先修课程中所学得的有关知识解决工程实际问题。

(2) 工程性。本课程具有鲜明的工程性，在设计每个机械零件时要用到大量的数据、表格、标准、资料等，要求处理方案选择、零件选择、材料选择、参数选择、结构形式选择等问题。另外，由于实际工程问题涉及多方面因素，其求解可采用多种方法，其解一般也不是唯一的。这需要设计者具有分析、判断、决策的能力，坚持科学严谨的工作作风，认真负责的工作态度，讲求实效的工程观点。

(3) 典型性。机械零件种类很多，本课程只学习其中的一部分，但设计机械零件的方法和思路是相同的，即通过学习这些基本内容掌握有关的设计规律和技术措施，从而具有设计其他通用零部件和某些专用零部件的能力。

本章主要介绍机器的基本构成、各部分的主要作用以及与机械设计相关的共性知识，包括机械零件设计的基本要求和准则、材料的选择、各种失效形式，以及它们与受力类型和相对运动之间的对应关系。

机械零件是机器最基本的组成单元，机械零件设计的主要内容包括材料和热处理方式的选择、结构形状和结构参数的确定，以及零件加工精度的确定，如尺寸精度、表面粗糙度、形状位置精度等。

## 1.1 机器的组成

机器是人们根据某种使用要求而设计和制造的一种执行机械运动的装置，可用来变换或传递能量、物料和信息。一台完整的机器就其各部分功能而言，包括以下几个部分（见图 1.1）。

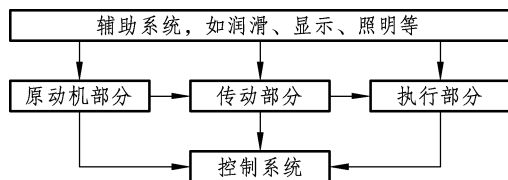


图 1.1

原动机部分是驱动整部机器完成预定功能的动力源。常用的原动机有电动机、内燃机、水轮机、蒸汽轮机、液动机和气动机，其中电动机应用最为广泛。

执行部分包括执行机构（工作机）和执行构件，通常处于机械系统的末端，用来完成机器的预定功能。

传动部分是使原动机的运动和动力传递给工作机的中间装置，实现运动和力的传递和变换，以适应工作机的需要。

控制系统是使原动机部分、传动部分、执行部分彼此协调工作，控制或操纵上述各部分的启动、离合、制动、变速、换向或各部件运动的先后次序、运动轨迹及行程等，并准确可靠地完成整个机械系统功能的装置，包括机械控制、电气控制和液压控制等。

此外，根据机器的功能要求，还有一些辅助系统，如润滑、冷却、显示、照明等以及框架支撑系统（如支架、床身、底座等）。

随着科学技术的不断进步和计算机技术的广泛应用，现代机械正朝着自动化、精密化、高速化和智能化的方向发展。现代机器是由计算机信息网络协调与控制的、用于完成包括机械力、运动和能量转化动力学任务的机械和（或）机电部件相互联系的系统。工业机器人是现代机器的典型。

## 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

（1）实现预期功能要求。预期功能是指用户或设计者与用户协商确定下来的机械产品需要满足的特性和能力。例如，机器工作部分的运动形式、速度、运动精度和平稳性、需传递的功率等，以及某些使用上的特定要求（如自锁、防潮、防爆等）。这需要设计者正确分析机器的工作原理、正确设计或选用能够全面实现功能要求的执行机构、传动机构、原动机以及合理配置必要的辅助系统来实现。

（2）经济性要求。经济性体现在机械设计、制造和使用的全过程中。设计制造的经济性表现为机器的成本低，使用经济性表现为高生产率，高效率，能源材料消耗少，维护管理费用低等。

（3）劳动保护和环境的要求。设计时要按照人机工程学的观点，使机器的使用简便可靠，减轻使用者的劳动强度。同时，设置完善的安全防护及保安装置、报警装置等，使所设计的机器符合劳动保护法规的要求。改善机器及操作者周围的环境条件，如降低机器运转的噪声，防止有毒、有害介质的渗漏及对废水、废气进行有效的治理等，以满足环境保护法规对生产环境提出的要求。

（4）寿命和可靠性要求。任何机器都要求在一定的寿命下可靠地工作。人们对机器除了有习惯上的工作寿命的要求外，对可靠性也提出了明确的要求。机器的可靠性通过可靠度来衡量。机器的可靠度是指，在规定的使用时间（寿命）内和预定的环境条件下，机器能够正常工作的概率。已有越来越多的机器设计和生产部门，特别是那些因机器失效将造成巨大损失的部门，如航空、航天部门，相继规定了在设计时必须对其产品，包括零部件进行可靠性分析与评估的要求。

（5）其他特殊要求。对不同的机器，还有一些为该机器所特有的要求。例如，对

机床有长期保持精度的要求；对流动使用的机器（如钻探机械）有便于安装和拆卸的要求；对大型机器有便于运输的要求等。设计机器时，在满足前述共同的基本要求的前提下，还应着重地满足这些特殊要求，以提高机器的使用性能。

### 1.2.2 机械设计的一般程序

（1）规划设计阶段。规划设计是机器设计整个过程中的准备阶段。在这个阶段，应对所设计机器的需求情况做充分的市场调查研究和分析，确定所设计机器需要实现的功能以及所有的设计要求和期望，并根据现有的技术、资料及研究成果，分析其实现的可能性，明确设计中的关键问题，拟定设计任务书。设计任务书的内容主要包括：机器的功能、主要参考资料、制造要求、经济性及环保性评估、特殊材料、必要的试验项目、完成设计任务的预期期限以及其他特殊要求等。正确分析和规划、确定设计任务是合理设计机械的前提。

（2）方案设计阶段。根据设计任务书提出的要求进行机器功能设计研究，确定执行部分的运动和阻力，选择原动机和传动机构，拟定原动机到执行部分的传动系统，绘制整机的运动简图，并进行初步的运动和动力计算，确定功能参数。根据功能参数，提出可能采用的方案。通常需做出多个方案加以分析比较，择优选定。

（3）技术设计阶段。根据方案设计阶段提出的最佳方案，进行技术设计，包括：机器运动学设计、机器动力学计算、零件工作能力设计、部件装配草图和总装配图的设计以及主要零件的校核，最后绘制零件的工作图、部件装配图和总装图，编制技术文件和说明书。

（4）试制定型阶段。通过鉴定评价，对设计进行必要的修改后进行小批量的试制和试验，必要时还应在实际使用条件下试用，对机器进行各种考核和测试。通过几次小批量生产，在进一步考察和验证的基础上将原设计进行改进之后，即可进行适用于成批生产的机器定型设计。

需要指出的是，机械设计的各个阶段是相互紧密关联的，某一阶段中发现问题和不当之处，必须返回到前面的有关阶段去修改。因此，机械设计过程是一个不断返回、不断修改，以逐渐接近最优结果的过程。

## 1.3 机械零部件设计

### 1.3.1 机械零件设计的基本要求

（1）功能性要求。应保证零件有足够的强度、刚度、寿命及振动稳定性等。

（2）结构工艺性要求。设计的结构应便于加工和装配。

（3）经济型要求。设计时正确选择零件的材料、尺寸，零件应有合理的生产加工和使用维护的成本。

（4）安全可靠，操作方便。

### 1.3.2 机械零件的主要失效形式

机械零件由于某种原因不能正常工作称为失效，主要失效形式有以下几种：

#### 1. 断 裂

当零件在外载荷作用下，由于某一危险截面的应力超过零件的强度极限而导致的断裂，或在变应力作用下，危险截面发生的疲劳断裂（见图 1.2）。

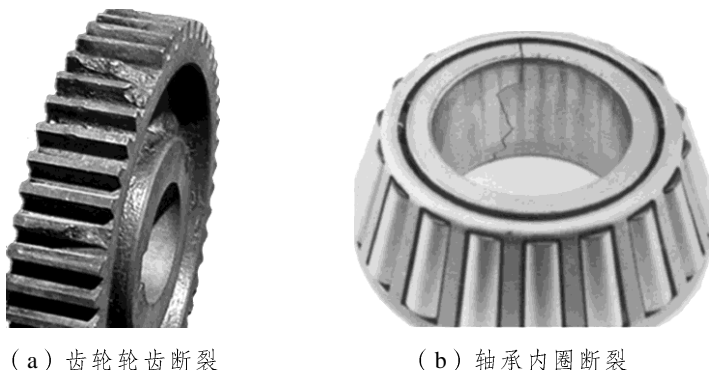


图 1.2 零件的疲劳断裂

#### 2. 过量变形

机械零件受载工作时，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工作影响不大，但过量的弹性变形会使零件不能正常工作，有时还会造成较大振动，造成零件损坏。

当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，造成零件的尺寸和形状改变（见图 1.3），破坏零件和零件间的相互位置和配合关系，使零件或机器不能正常工作。

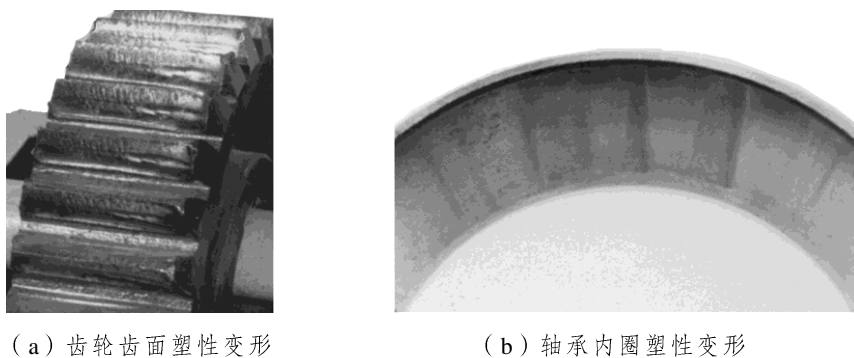


图 1.3 零件的塑形变形

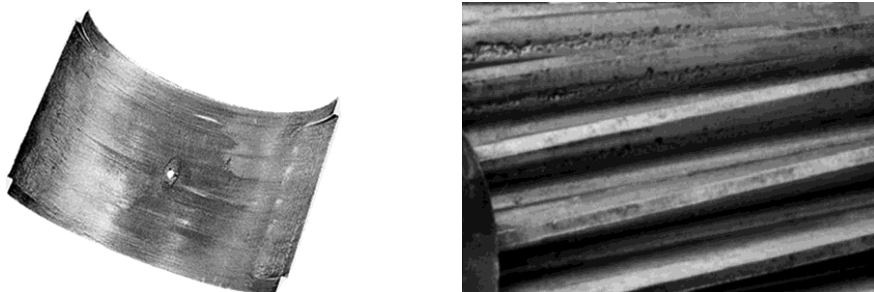
#### 3. 零件的表面损伤

零件的表面损伤主要是接触疲劳（点蚀）、磨损和腐蚀（见图 1.4）。零件表面损伤

后，通常都会增大摩擦，增加能量损耗，破坏零件的工作表面，致使零件尺寸发生变化，最终造成零件报废。零件的使用寿命在很大程度上受到表面损伤的限制。

#### 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将发生不同类型的失效。例如，带传动当传递的有效圆周力大于摩擦力的极限值时将发生打滑失效；高速转动的零件当其转速与转动系统的固有频率相一致时会发生共振，引起断裂；液体润滑的滑动轴承当润滑油膜破裂时将发生过热、胶合、磨损等。



(a) 轴承轴瓦的磨损

(b) 齿轮齿面点蚀

图 1.4 零件的表面损伤

零件在工作时发生哪一种失效，与零件的工作环境、载荷性质等很多因素有关。有统计结果表明，正常工作情况下，机械零件的失效主要由疲劳、磨损、腐蚀等因素引起。

### 1.3.3 机械零件的设计准则

零件不发生失效时的安全工作限度称为零件的工作能力，为保证零件安全、可靠地工作，应确定相应的设计准则来保证设计的机械零件具有足够的工作能力。一般来讲，大体有以下设计准则：

#### 1. 强度准则

强度准则是机械零件设计计算最基本的准则。强度是指零件在载荷作用下抵抗断裂、塑性变形及表面损伤的能力。为保证零件有足够的强度，计算时应保证危险截面工作应力  $\sigma$  或  $\tau$  不能超过许用应力  $[\sigma]$  或  $[\tau]$ ，即

$$\sigma \leq [\sigma] \text{ 或 } \tau \leq [\tau] \quad (1.1)$$

满足强度要求的另一表达式是使零件工作时的实际安全系数  $S$  不小于零件的许用安全系数  $[S]$ ，即

$$S \geq [S] \quad (1.2)$$

## 2. 刚度准则

刚度是零件受载后抵抗弹性变形的能力。为保证零件有足够的刚度，设计时应使零件在载荷作用下产生的弹性变形量  $y$  不得大于许用变形量  $[y]$ ，即

$$y \leq [y] \quad (1.3)$$

弹性变形量  $y$  可按各种变形量的理论或实验方法来确定，而许用变形量  $[y]$  则应随不同的使用场合，根据理论或经验来确定其合理的数值。

## 3. 寿命准则

影响零件寿命的主要因素是腐蚀、磨损和疲劳，它们的产生机理、发展规律及对零件寿命的影响是完全不同的。迄今为止，还未能提出有效而实用的腐蚀寿命计算方法，所以尚不能列出腐蚀的计算准则。对磨损，人们已充分认识到它的严重危害性，进行了大量的研究，但由于摩擦、磨损的影响因素十分复杂，产生的机理还未完全明晰，所以至今还未形成供工程实际使用的定量计算方法。对疲劳寿命计算，通常是求出零件使用寿命期内的疲劳极限或额定载荷来作为计算的依据。

## 4. 振动稳定性准则

机器中存在着许多周期性变化的激振源，如齿轮的啮合、轴的偏心转动、滚动轴承中的振动等。当零件（或部件）的固有频率  $f$  与上述激振源的频率  $f_p$  重合或成整数倍关系时，零件就会发生共振，导致零件在短期内被破坏甚至整个系统毁坏。因此，应使受激零件的固有频率与激振源的频率相互错开，避免共振。相应的振动稳定性的计算准则为

$$0.85f > f_p \text{ 或 } 1.15f < f_p \quad (1.4)$$

若不满足振动稳定性条件，可改变零件或系统的刚度或采取隔振、减振措施来改善零件的振动稳定性。

## 5. 散热性准则

机械零部件由于过度发热，会引起润滑失效，零部件胶合、硬度降低、热变形等问题。因此，对于发热较大的机械零部件必须限制其工作温度，满足散热性准则，如蜗杆传动、滑动轴承需进行热平衡计算。

## 6. 可靠性准则

对于重要的机械零件要求计算其可靠度，作为可靠性的性能指标。可靠度是指，一批零件，共有  $N_0$  个，在一定的工作条件下进行试验，如在时间  $t$  后仍有  $N_s$  个能正常工作，则这批零件在该工作条件下，达到工作时间  $t$  的可靠度  $R$  为

$$R = \frac{N_s}{N_0} = \frac{N_0 - N_f}{N_0} = 1 - \frac{N_f}{N_0} \quad (1.5)$$



式中  $N_f$ ——在时间  $t$  内失效的零件数,  $N_0=N_s+N_f$ 。

### 1.3.4 机械零件的设计方法

机械零件的常规设计方法有以下三种。

#### 1. 理论设计

理论设计是根据现有的设计理论和实验数据所进行的设计。按照设计顺序的不同,零件的理论设计可分为设计计算和校核计算。

### 1) 设计计算

根据零件的工作情况和要求进行失效分析, 确定零件的设计计算准则, 按其理论设计公式确定零件的形状和尺寸。

### 2) 校核计算

参照已有实物、图样和经验数据初步拟定零件的结构和尺寸, 然后根据设计计算准则的理论校核公式进行校核计算。

## 2. 经验设计

经验设计是指根据对某类零件已有的设计与使用实践而归纳出的经验公式, 或根据设计者的经验用类比法所进行的设计。经验设计简单方便, 适用于那些使用要求变动不大而结构形状已典型化的零件, 如箱体、机架、传动零件。

## 3. 模型实验设计

对于尺寸特大、结构复杂且难以进行理论计算的重要零件可采用模型实验设计。即把初步设计的零、部件或机器做成小模型或小尺寸样机, 通过实验的手段对其各方面的特性进行检验, 根据实验的结果进行逐步的修改, 从而达到完善。这种方法费时、昂贵, 适用于特别重要的设计。

### 1.3.5 机械零件设计的一般步骤

机械零件的设计大体要经过以下几个步骤:

(1) 根据零件功能要求、工作环境等选定零件的类型。为此, 必须对各种常用机械零件的类型、特点及适用范围有明确的了解, 进行综合对比并正确选用。

(2) 根据机器的工作要求, 计算作用在零件上的载荷。

(3) 分析零件在工作时可能出现的失效形式, 确定其设计计算准则。

(4) 根据零件的工作条件和对零件的特殊要求, 选择合适的材料, 并确定必要的热处理或其他处理方式。

(5) 根据设计准则计算并确定零件的基本尺寸和主要参数。

(6) 根据工艺性要求及标准化等原则进行零件的结构设计, 确定其结构尺寸。

(7) 结构设计完成后, 必要时还应进行详细的校核计算, 判断结构的合理性并适当修改结构设计。

(8) 绘制零件的工作图, 并写出计算说明书。

## 1.4 机械零件的材料及其选用

### 1.4.1 机械零件常用的材料

机械零件的常用材料可以分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

### 1. 金属材料

在各类工程材料中，金属材料（尤其是钢铁）使用最广。据统计机械产品中金属材料的使用占到了90%以上。钢铁之所以被大量采用，除了由于其具有较好的力学性能（如强度、塑性、韧性等）外，还因价格相对便宜和容易获得，而且能满足多种性能和用途的要求。在各类钢铁材料中，由于合金钢的性能优良，常用于制造重要的零件。

除钢铁以外的金属材料均称为有色金属及其合金。有色金属合金具有某些特殊性能，如良好的减摩性、耐磨性、抗腐蚀性、抗磁性、导电性等。在机械制造中主要应用的是铜合金、轴承合金和轻合金。

### 2. 非金属材料

非金属材料，可大致分为高分子材料和陶瓷材料。高分子材料主要有塑料、橡胶和合成纤维三大类。高分子材料的主要优点在于其有极强的化学稳定性，不易被氧化。以聚四氟乙烯为例，它具有很强的耐腐蚀性，化学稳定性极强，低温下不易变脆，沸水中不会变软，因此常被用于化工设备。但是由于高分子材料是有机材料，所以不少高分子材料不具备阻燃性，且易老化。以 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 和 $\text{SiC}$ 为代表的工程结构陶瓷和以 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 为代表的刀具陶瓷以其极高的硬度、高耐磨性、高耐腐蚀性、高熔点、大刚度等特点被广泛地应用在密封件、滚动轴承和切削刀具等结构中。但陶瓷材料的缺点是价格昂贵、加工工艺性差、断裂韧度低，这使得它的使用受到了极大的限制。

### 3. 复合材料

复合材料是由两种或两种以上具有不同的物理和力学性能的材料复合制成的，可以获得单一材料难以达到的优良性能。复合材料的主要优点是有较高的强度和弹性模量，而质量又特别小，但它也有耐热性差、导热和导电性差的缺点。此外，复合材料的价格比较高，目前主要应用于航空、航天等高科技领域。

机械零件的常用材料绝大多数已标准化，可查阅有关的国家标准、设计手册等资料了解它们的性能特点和使用场合，以备选用。在后面的有关章节中也将对具体零件的适用材料分别加以介绍。

## 1.4.2 机械零件材料选择的一般原则

机械零件材料的选择是一个比较复杂的技术经济问题，通常应考虑下述三方面要求。

### 1. 使用要求

（1）机械所受载荷的大小、性质及其应力状况。如承受拉伸为主的机械零件宜选钢材；受压的机械零件宜选铸铁；承受冲击载荷的机械零件宜选韧性好的材料。

（2）机械零件的工作条件。如高温下工作的应选耐热钢；在腐蚀介质中工作的应选耐蚀材料；表面处于摩擦状态下工作的应选耐磨性较好的材料。

（3）机械零件尺寸和重量的限制。如受力大的零件，因尺寸取决于强度，一般而

言,尺寸也相应增大,但如果在零件尺寸和重量又有限制的条件下,就应选用高强度的材料;载荷一般但要求质量轻的机械零件,设计时可采用轻合金或塑料。

## 2. 工艺要求

为使零件便于加工制造,选择材料时应考虑零件结构的复杂程度、尺寸大小和毛坯类型。结构复杂的零件宜选用铸造毛坯,或用板材冲压出结构件后再经焊接而成。结构简单的零件可用锻造法制取毛坯。

对材料工艺性的了解,在判断加工可能性方面起着重要的作用。铸造材料的工艺性是指材料的液态流动性、收缩率、偏析程度及产生缩孔的倾向性等。锻造材料的工艺性是指材料的延展性、热脆性及冷态和热态下塑性变形的能力等。焊接材料的工艺性是指材料的焊接性及焊缝产生裂纹的倾向性等。材料的热处理工艺性是指材料的可淬性、淬火变形倾向性及热处理介质对它的渗透能力等。冷加工工艺性是指材料的硬度、易切削性、冷作硬化程度及切削后可能达到的表面粗糙度等。

## 3. 经济要求

经济性要求材料的经济性不仅指材料本身的价格,还包括加工制造费用、使用维护费用等。提高材料经济性可从以下几方面加以考虑:

(1) 材料本身的价格。在满足使用要求和工艺要求的条件下,应尽可能选择价格低廉的材料,特别是对生产批量大的零件,更为重要。

(2) 材料的加工费用。如制造某些箱体类零件,虽然铸铁比钢板廉价,但在批量小时,选用钢板焊接反而更有利,因其可以省掉铸模的生产费用。

(3) 采用热处理或表面强化(如喷丸、碾压等)、表面喷镀等工艺,充分发挥和利用材料潜在的力学性能,减少和延缓腐蚀或磨损的速度,延长零件的使用寿命。

(4) 改善工艺方法,提高材料利用率,降低制造费用。如采用无切削、少切削工艺(如冷墩、碾压、精铸、模锻、冷拉工艺等),可减少材料的浪费,减少加工工时,还可使零件内部金属流线连续、强度提高。

(5) 节约稀有材料。如采用我国资源较丰富的锰硼系合金钢代替资源较少的铬镍系合金钢,采用铝青铜代替锡青铜等。

(6) 采用组合式结构,节约价格较高的材料。如组合式结构的蜗轮齿圈用减摩性较好但价贵的锡青铜,轮芯采用价廉的铸铁。

(7) 材料的供应情况。应选本地现有且便于供应的材料,以降低采购、运输、储贮的费用。此外,应尽可能减少材料的品种和规格,以简化供应和管理。

## 1.5 机械设计中的标准化、系列化和通用化

机械零件的标准化是指通过对零件的尺寸、结构要素、材料性能、检验方法、设计方法及制图要求等,制订出被大家共同遵守的标准。在机械设计中,应该尽可能采

用有关标准。常用的标准包括：

- (1) 各种零部件标准，如螺栓、螺母、垫圈、键、花键和滚动轴承标准。
- (2) 零件参数标准，如标准直径、齿轮模数、螺纹形状和各种机械零件的公差等。
- (3) 零件设计方法标准，如渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法、普通 V 带传动设计等。
- (4) 材料标准，如各种材料的牌号、型钢的形状和尺寸等。

目前，已发布的与机械零件设计有关的标准，从运用范围上来讲，可分为国家标准（GB）、行业标准（如 JB、QB、YB 等）和企业标准，从使用的强制性来说，可分为必须执行的（有关度、量、衡及涉及人身安全等标准）和推荐使用的（如标准直径等）。

对于同一产品，为了符合不同的使用条件，在同一基本结构或基本尺寸条件下，规定出若干个辅助尺寸不同的产品，成为不同的系列，称为产品的系列化。例如，对于同一结构、同一内径的滚动轴承，制出不同外径及宽度的产品，称为滚动轴承系列。不同种类的产品或不同规格的同类产品中可采用同一结构和尺寸的零部件，称为产品的通用化。例如，不同的汽车可采用相同的内燃机。

标准化、通用化、系列化简称机械产品的“三化”。贯彻“三化”可以实现：减轻设计工作量，提高设计质量并缩短生产周期；减少刀具和量具的规格，便于设计与制造，从而降低成本；便于组织标准件的规模化、专门化生产，易于保证产品质量，节约材料，降低成本；提高互换性，便于维修；便于国家的宏观管理与调控以及内外贸易；便于评价产品质量，解决经济纠纷。

## 1.6 现代机械设计方法

现代机械设计方法是相对于传统设计方法而言的。由于现代设计方法尚处于不断发展之中，尚无明确的定义域界，但其一般性发展规律却是有据可循的。从整体上来说，现代设计方法是一个综合运用现代应用数学、应用力学、电子信息科技等方面的最新的研究成果与技术手段来辅助完成设计，使设计更加趋近精确、可靠、高效、节能。几种在机械设计中应用较广的现代设计方法如下。

### 1.6.1 模块化设计

相比于传统的串行设计，模块化设计可以实现并行设计，使得设计周期可以大大缩短。同时，模块化设计也方便产品的功能更新以及产品功能的多样性。同时，依据一个好的设计平台，模块化设计可以增强不同功能的机器间的零件的通用化，进而大幅度降低产品成本，提高产品质量。

### 1.6.2 优化设计

优化设计，是将设计中的物理模型转化为数学模型，然后采用数学最优化理论，

利用计算机等辅助工具求解出最优解。通过对最优解的分析评价结论来指导确定最优的设计方案。优化设计可以实现多个变量目标综合，达到系统整体的最优化最精确设计。

### 1.6.3 计算机辅助设计

计算机辅助设计，通常是利用 CAD 等强大的计算机软件快速精确，逻辑判断等功能进行设计信息处理。CAD 与计算机辅助制造 (CAM) 结合形成 CAD/CAM 系统，再与计算机辅助检测 (CAT)、计算机管理自动化结合形成计算机集成制造系统 (CIMS)，综合进行市场预测、产品设计、生产计划、制造和销售等一系列工作，实现人力、物力和时间等各种资源的有效利用，有效地促进了现代企业生产组织、管理和实施的自动化、无人化，使企业总效益提高。

### 1.6.4 人机工程学设计

人机学设计是从人机工程学的角度考虑机械设计，处理机械与人的关系，使设计满足人的需要。该方法用系统论的观点来研究人、机器和环境所组成的系统，研究组成三要素及其相互关系。人机学设计研究的重点是人，从研究人的生理和心理特征出发，使系统中的三要素相互协调，以便促进人的身心健康，提高人的工作效能，最大限度地发挥机器的优势。

### 1.6.5 机械动态设计

机械动态设计是根据机械产品的动载工况，以及对该产品提出的动态性能要求与设计准则，按动力学方法进行分析与计算、优化与试验并反复进行的一种设计方法。该方法的基本思路是，把机械产品（系统或设备）看成是一个内部情况不明的黑箱，根据对产品的功能要求，通过外部观察，对黑箱与周围不同的信息联系进行分析，求出机械产品的动态特性参数，然后进一步寻求它们的机理和结构。

### 1.6.6 机械系统设计

机械系统设计是应用系统的观点进行机械产品设计的一种设计方法。传统设计只注重机械内部系统设计，且以改善零部件的特性为重点，对各零部件之间、内部与外部系统之间的相互作用和影响考虑较少。机械系统设计则遵循系统的观点，研究内外系统和各子系统之间的相互关系，通过各子系统的协调工作、取长补短来实现整个系统最佳的总功能。

综上，现代机械设计方法是一个动态取代静态，定量取代定性，优化设计取代可行性设计，模块化设计取代串行设计，系统工程取代部分处理，自动化取代人工，综合运用已有的资源不断向前发展的一种设计方法。其本质是追求更高的效益，更恰当的设计，不断开拓设计人员的视野，集中精力创新发展并开发出更多的高新技术产品

以满足社会、经济、国防等诸多方面的发展需要。

### 思考与习题

1. 以普通车床为例，说明设计机器时应满足的基本要求。
2. 对机械零部件有哪些要求？
3. 什么是机械零件失效？试举出几种常见的机械零件失效形式。
4. 什么是机械零件的设计准则？常用的机械零件设计准则有哪些？

