

高等学校教材

# 机械设计基础

武汉水利电力大学 李纪仁 主编



高等学校教材

---

# 机械设计基础

武汉水利电力大学 李纪仁 主编

水利电力出版社

## 内 容 提 要

本书主要介绍机械中的常用机构、机械传动以及通用机械零部件和起重机械起升机构零部件的工作原理、结构特点、基本设计理论和设计计算方法。其中,常用机构包括连杆机构、凸轮机构和间歇运动机构;通用机械零部件包括联接零部件(螺纹、键和花键、销、粘接)、机械传动(齿轮传动、蜗杆传动、带传动、链传动、轮系和减速器)零部件、轴系零部件(轴、滑动轴承、滚动轴承)和弹簧;起重机械起升机构零部件包括钢丝绳、滑轮和滑轮组、卷筒等。

本书主要作高等工科院校近机械类专业机械设计基础课程的教材,也可供其他有关专业和工程技术人员参考。

## 高等学校教材 机 械 设 计 基 础

武汉水利电力大学 李纪仁 主编

水利电力出版社出版

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售  
北京市地质矿产局印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 12.75印张 146千字

1995年11月第一版 1995年11月北京第一次印刷

印数 0001—1830 册

ISBN 7-120-02384-5 TH·22

定价15.20元

## 前 言

本书是根据原能源部（现电力工业部）电力普通高等学校机械类专业教学协作组1989年决定编写电力系统近机械类专业《机械设计基础》教材而编写的。

本教材针对电力系统近机械类专业《机械设计基础》课程的教学要求、教学计划安排的学时（70～80小时）和结合多年的教学实践经验，在符合国家教委机械设计课程指导组1993年通过的《机械设计基础》课程教学基本要求的原则下，精选教学内容，删掉和削弱部分章节的内容，结合本专业专业的需要，增加了起重机起升机构的主要零部件；此外，还适当拓宽知识面，反映学科的新成就。

本教材坚持理论联系实际的原则，在充分保证必要的基本理论和基本知识的前提下，注重实际应用，培养学生初步的机械设计能力和分析问题、解决问题的能力。在编写本教材时，尽可能采用最新的有关标准、规范和设计计算方法。在论述时，力求层次清楚，详略得当，结论简明。

本教材除了用作电力高等工科院校近机械类专业，即热能动力工程、水能动力工程、流体机械与流体工程、焊接工艺及设备等专业《机械设计基础》课程的教材外，也可作为工科其他近机械类专业《机械设计基础》课程的教材，或供其他有关专业的师生和工程技术人员参考。

参加本书编写的有武汉水利电力大学李纪仁教授（第一、六、九、十、十六章）、华北水利水电学院曹廷驹副教授（第二、三、四、十三、十四章）和葛洲坝水电工程学院汪仲友副教授（第五、七、八、十一、十二、十五、十七章）。由武汉水利电力大学李纪仁任主编。

本书由华中理工大学余俊教授主审。余俊教授进行了认真的审阅，提出了很多建设性的宝贵意见，对提高本书的质量给予很大的帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，误漏之处在所难免，殷切期望广大读者批评指正。

编 者

1994年10月

# 目 录

## 前言

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第 1 章 机械及机械零件设计概论      | 1  |
| § 1-1 本课程研究的内容         | 1  |
| § 1-2 设计机器应满足的要求       | 4  |
| § 1-3 设计机器的一般程序        | 6  |
| § 1-4 机械零件常用材料及选择原则    | 7  |
| § 1-5 机械零件的失效形式与计算准则   | 9  |
| § 1-6 机械零件的强度          | 11 |
| 习题                     | 15 |
| 第 2 章 平面连杆机构           | 16 |
| § 2-1 平面连杆机构及其应用       | 16 |
| § 2-2 铰链四杆机构的类型及其演化    | 17 |
| § 2-3 铰链四杆机构的曲柄存在条件    | 20 |
| § 2-4 四杆机构的几个基本概念      | 22 |
| § 2-5 平面连杆机构运动设计概述     | 25 |
| § 2-6 平面机构运动简图         | 30 |
| 习题                     | 33 |
| 第 3 章 凸轮机构             | 37 |
| § 3-1 凸轮机构的应用和分类       | 37 |
| § 3-2 从动件常用的运动规律       | 40 |
| § 3-3 凸轮机构的压力角和基圆半径的确定 | 45 |
| § 3-4 盘形凸轮轮廓曲线的设计      | 48 |
| 习题                     | 52 |
| 第 4 章 其他常用机构和组合机构的基本概念 | 54 |
| § 4-1 棘轮机构             | 54 |
| § 4-2 槽轮机构             | 57 |
| § 4-3 不完全齿轮机构          | 59 |
| § 4-4 万向联轴节            | 61 |
| § 4-5 机构选型             | 63 |
| § 4-6 组合机构             | 64 |
| 习题                     | 68 |
| 第 5 章 机械的平衡            | 70 |
| § 5-1 回转构件的静平衡         | 70 |
| § 5-2 回转构件的动平衡         | 72 |
| 习题                     | 73 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第 6 章 齿轮传动                  | 74  |
| § 6-1 齿轮传动的类型和特点            | 74  |
| § 6-2 齿轮的齿廓曲线               | 75  |
| § 6-3 渐开线标准齿轮各部分名称和尺寸       | 77  |
| § 6-4 渐开线直齿圆柱齿轮的正确啮合与连续传动条件 | 79  |
| § 6-5 渐开线齿廓的切制原理与轮齿的根切现象    | 80  |
| § 6-6 最少齿数与变位齿轮的概念          | 83  |
| § 6-7 齿轮材料及其热处理             | 85  |
| § 6-8 轮齿的失效型式与计算准则          | 87  |
| § 6-9 直齿圆柱齿轮传动的作用力及计算载荷     | 88  |
| § 6-10 直齿圆柱齿轮传动的强度计算        | 90  |
| § 6-11 斜齿圆柱齿轮传动             | 99  |
| § 6-12 直齿圆锥齿轮传动             | 103 |
| § 6-13 齿轮的结构                | 106 |
| § 6-14 圆弧齿轮传动简介             | 108 |
| 习题                          | 110 |
| 第 7 章 蜗杆传动和螺旋传动             | 113 |
| § 7-1 蜗杆传动的类型及特点            | 113 |
| § 7-2 阿基米德蜗杆传动的主要参数         | 115 |
| § 7-3 蜗杆传动的滑动速度、效率和自锁       | 119 |
| § 7-4 蜗杆传动的失效形式、材料与结构       | 120 |
| § 7-5 蜗杆传动的强度计算与热平衡计算       | 121 |
| § 7-6 齿轮传动与蜗杆传动的润滑          | 127 |
| § 7-7 螺旋传动                  | 130 |
| 习题                          | 136 |
| 第 8 章 轮系及减速器                | 137 |
| § 8-1 轮系的分类及用途              | 137 |
| § 8-2 定轴轮系的传动比计算            | 140 |
| § 8-3 周转轮系的传动比计算            | 142 |
| § 8-4 少齿差行星齿轮传动简介           | 144 |
| § 8-5 减速器                   | 145 |
| 习题                          | 148 |
| 第 9 章 带传动                   | 150 |
| § 9-1 带传动和带的类型              | 150 |
| § 9-2 带传动的工作情况分析            | 154 |
| § 9-3 普通 V 带传动的设计计算         | 158 |
| § 9-4 V 带轮的设计与带的张紧          | 164 |
| 习题                          | 166 |
| 第 10 章 链传动                  | 168 |
| § 10-1 概述                   | 168 |
| § 10-2 套筒滚子链及链轮结构           | 168 |
| § 10-3 链传动的运动和受力分析          | 172 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| § 10-4 链传动的设计计算         | 175 |
| § 10-5 链传动的布置及润滑        | 179 |
| 习题                      | 179 |
| 第11章 螺纹联接及粘接            | 181 |
| § 11-1 螺纹的主要参数及类型       | 181 |
| § 11-2 螺旋副的受力分析、效率和自锁   | 182 |
| § 11-3 螺纹联接的基本类型        | 185 |
| § 11-4 螺纹联接的预紧和防松       | 186 |
| § 11-5 螺栓联接的强度计算        | 190 |
| § 11-6 螺栓组联接的结构设计       | 197 |
| § 11-7 提高螺栓联接强度的措施      | 198 |
| § 11-8 粘接               | 203 |
| 习题                      | 206 |
| 第12章 轴和轴毂联接             | 208 |
| § 12-1 轴的分类和材料          | 208 |
| § 12-2 轴的结构             | 210 |
| § 12-3 轴的强度计算           | 214 |
| § 12-4 轴的刚度计算简介         | 216 |
| § 12-5 轴的临界转速           | 217 |
| § 12-6 轴毂联接             | 221 |
| 习题                      | 228 |
| 第13章 滚动轴承               | 230 |
| § 13-1 滚动轴承的构造、分类和特性    | 230 |
| § 13-2 滚动轴承的代号          | 233 |
| § 13-3 滚动轴承尺寸的选择计算      | 236 |
| § 13-4 滚动轴承的组合设计        | 243 |
| 习题                      | 249 |
| 第14章 滑动轴承               | 252 |
| § 14-1 滑动轴承的类型及结构形式     | 252 |
| § 14-2 轴承材料             | 256 |
| § 14-3 非液体润滑滑动轴承的计算     | 258 |
| § 14-4 液体摩擦(动压润滑)滑动轴承简介 | 260 |
| § 14-5 滑动轴承的润滑          | 261 |
| 习题                      | 264 |
| 第15章 联轴器和离合器            | 265 |
| § 15-1 概述               | 265 |
| § 15-2 联轴器              | 267 |
| § 15-3 离合器              | 273 |
| 习题                      | 274 |
| 第16章 起重机械零件             | 275 |
| § 16-1 起重机概述            | 275 |
| § 16-2 钢丝绳              | 278 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| § 16-3 滑轮及滑轮组.....                   | 283 |
| § 16-4 卷筒.....                       | 289 |
| 习题.....                              | 293 |
| 第17章 弹簧.....                         | 295 |
| § 17-1 弹簧的功用与类型.....                 | 295 |
| § 17-2 圆柱形螺旋压缩(拉伸)弹簧的结构、材料和许用应力..... | 296 |
| § 17-3 圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧的设计计算.....        | 300 |
| 习题.....                              | 307 |
| 参考文献.....                            | 308 |



# 第1章 机械及机械零件设计概论

## §1-1 本课程研究的内容

### 一、几个名词的概念

机器、机构、构件、零件是我们经常使用的一些名词。为了准确地了解这些名词的概念，现以闸门启闭机为例，解剖其结构，分析各部分的运动及其作用。

图1-1 (a)所示为QPK型闸门启闭机，它主要用于水电厂进水口快速闸门的启闭。这种闸门启闭机由电动机、制动器、开式齿轮、卷筒、滑轮组、钢丝绳、调速器、高度指示器、机架等组成。闸门联接于动滑轮下部的销轴上。电动机的运动和动力通过减速器、开式齿轮传递给卷筒，改变电动机的转向，可改变卷筒的转向，从而使钢丝绳绕入或绕出卷筒，相应地提升或放下闸门，以开启或关闭水电厂进水口。滑轮组由定滑轮、动滑轮、平衡滑轮、轴、轴承等组成 [图1-1 (b)]。利用滑轮组使在提起或放下闸门时，达到省力、减速的目的。当电动机停止工作时，为了使闸门停止在某一高度位置，在弹簧力的作用下，制动器的制动瓦块将装于减速器高速轴上的制动轮抱住，使制动轮的摩擦面上产生足够大的摩擦力矩，以阻止闸门在自重等力的作用下而自动下降。

装于减速器高速轴右端的调速器，其作用是控制闸门快速关闭时的下降速度。它的结构如图1-2所示，它由锥形摩擦盘、角杠杆、飞球、弹簧等组成。启闭机在正常启闭闸门运行中，电动机以正常转速旋转，调速器不起作用。当出现紧急事故需快速关闭进水口时，电动机不通电，通过交流电（或直流电）打开制动器抱闸，闸门在持住力（与闸门自重、水对闸门的静水压力、动水压力等有关）作用下，克服启闭机机构的传动阻力，闸门将逐渐加速下降，减速器的高速轴也随之加速旋转，飞球产生的离心力通过角形杠杆，使左右两外圆锥摩擦盘压向固定在机架上的内圆锥摩擦盘，从而在摩擦面上产生一定的摩擦力矩。当减速器高速轴的转速达到电动机额定转速的两倍左右时，在摩擦盘上产生的摩擦力矩接近或等于持住力产生的荷载力矩，闸门作匀速快速下降，直至全关。通过调整弹簧的压缩力，可调整摩擦力矩的大小，它还可使左右两摩擦盘复位。

由启闭机的结构可看出，齿轮、卷筒、卷筒轴、弹簧等，它们是一些在机器中不可再分割的单元，这些单元我们称之为零件。如图1-1 (a)中的大齿轮与卷筒，为了便于制造，它们将分别制成，然后用若干个螺栓联接成一体，工作时，两者之间无相对运动。这种由几个零件组成，各零件间无相对运动的单元体，称之为构件。

机器中的零件可分为两类。一类为在大多数机器中都能遇到的，如齿轮、螺栓、轴等，它们称为通用零件。另一类零件仅在某些专门的机器中才用到，如卷筒、滑轮等主要用于启闭机和起重机中；又如内燃机的活塞、汽轮机的叶片、水轮机的转轮等，只有在这些相

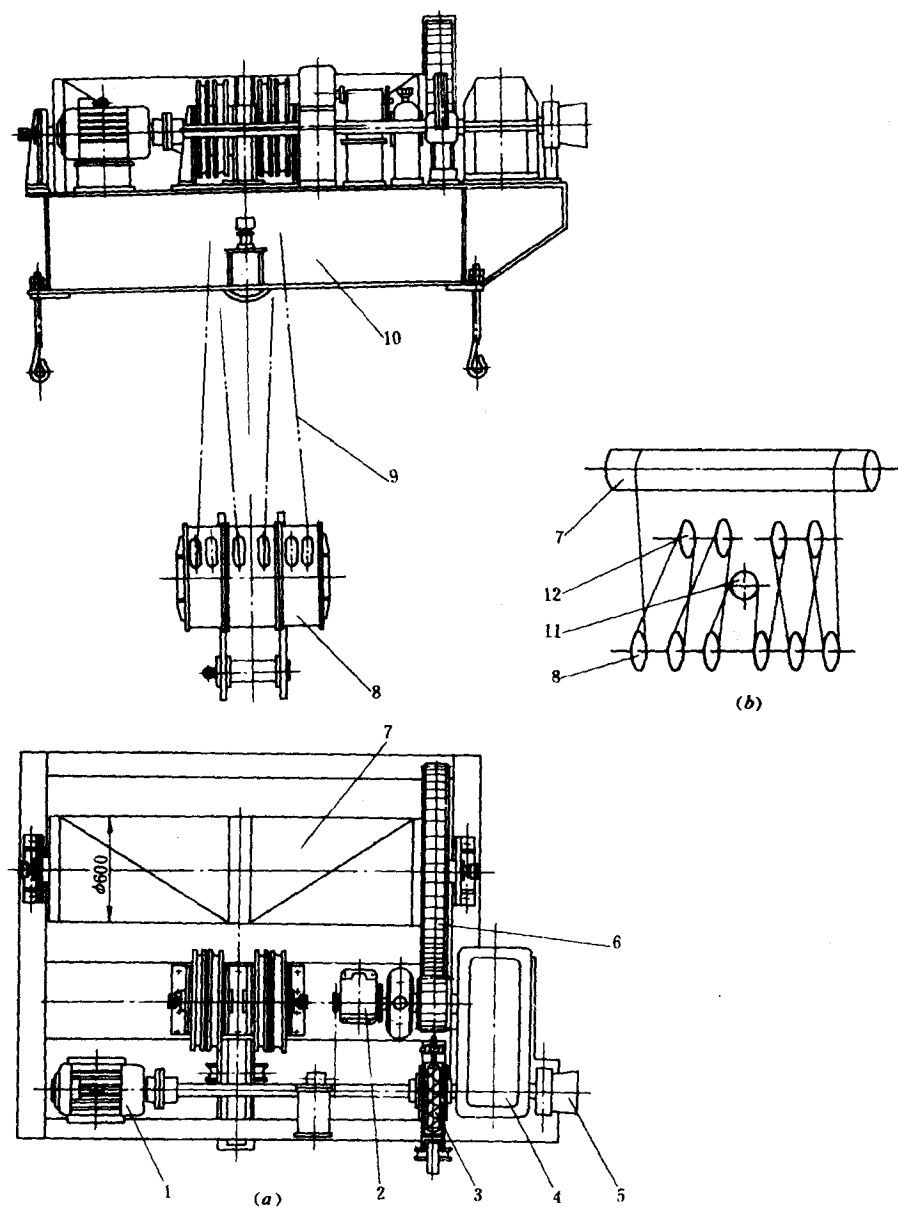


图 1-1 QPK 型闸门启闭机

(a) 启闭机；(b) 滑轮组钢丝绳缠绕示意图

- 1—电动机；2—高度指示器；3—制动器；4—减速器；5—调速器；6—开式齿轮；7—卷筒；  
8—动滑轮；9—钢丝绳；10—机架；11—平衡滑轮；12—定滑轮

应的机器中才用到，这些零件称为专用零件。

所谓机构，它们具有这样两个特征：①是由几个零件（或构件）人为所组成的，用以传递运动和力；②各零件（或构件）之间具有确定的相对运动。如启闭机中的一对开式齿轮及其轴、轴承和机架等，组成齿轮机构。调速器中的摩擦盘、角杠杆、轴等是连杆机构的一种演化机构（分析方法参见第2章§2-2）。因此，所谓机构是：用来传递运动和力的，

有一个构件为机架的、用运动副联接起来的构件系统。

无疑启闭机是一种机器。它除了具有机构的特征外，还有一个特征是机器可代替或减轻人们的劳动以完成有益的机械功或转换能量。因此机器可定义为：执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料与信息〔见机器理论与机构原理常用术语（GB10853—89）〕。有一些资料将机器定义为：机器是由两个及其以上相互联系配合的构件所组成的联合体，通过其中某些构件的限定的相对运动，将某种原动力和运动转换，以执行人们预期的工作，在人或其他具有一定智能的智能体的操作和控制下，实现所要求的某种或几种功能。机器的这一定义，提出了两个重要概念，一是强调机器是实现某种“功能”的装置，另一个是强调了“控制”的概念。

机械是机器与机构的总称。

## 二、本课程研究的内容

启闭机中所使用的零、部件，基本上概括了本课程所要研究的内容。具体地说，《机械设计基础》课程主要研究机械中常用机构和通用零部件的工作原理、结构特点、基本设计理论和计算方法。此外，还研究起重机械的挠性构件及其卷绕装置的结构和设计计算方法。

在机器中普遍使用的机构为常用机构。如连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等。通用机械零、部件包括联接零件（螺纹联接、键和花键联接、销联接等）、机械传动（齿轮和蜗杆传动、带传动、链传动等）、轴系零部件（轴、轴承、联轴器等）和弹簧等。起重机械零件虽属非通用零件，但在水利、电力各部门使用相当广泛，故在本课程中也介绍了钢丝绳、滑轮及滑轮组、卷筒等。

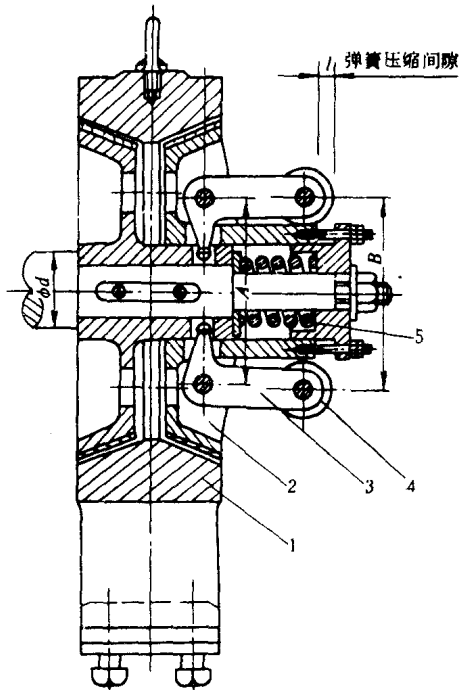


图 1 2 调速器结构图

1—内圆锥摩擦盘; 2—外圆锥摩擦盘; 3—角杆;  
4—飞球; 5—弹簧

### 三、学习本课程的目的

机械广泛应用于机械、电力、冶金、石油、化工、水利、建筑、轻工、食品等各部门。在这些部门工作的工程技术人员将经常接触到各种机械的使用、维修以及设计某种机械设备的问题。因此，对于动力、电力、建工、水利等专业的工程技术人员，完全有必要学习本课程。具体地说，学习本课程的主要目的是：①掌握常用机构的结构原理、运动特点和机械动力学的基本知识，初步具有分析和设计基本机构的能力；②掌握通用机械零件的工作原理、特点、选用和设计计算的基本知识，并初步具有设计简单机械及普通机械传动装置的能力；③掌握起重机械的挠性构件及其卷绕装置的结构、选用和设计计算的基本知识；④具有运用标准、规范、手册、图表等有关技术资料的能力；⑤能通过实验来验证理论，并巩固和加深对理论的理解。学生如果具有上述基本知识和能力，就为正确使用、维护、修理和分析机械设备的故障获得良好的基础。

## §1-2 设计机器应满足的要求

### 一、机器的组成

机器的种类繁多，结构不同，功能各异。尽管如此，它们的组成可归纳为如图1-3所示的几个部分。

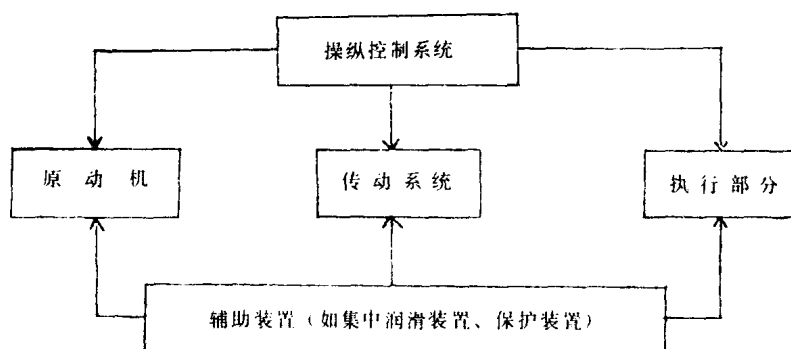


图 1-3 机器的组成

原动机、传动系统、执行部分是机器的基本组成部分。

原动机是机器完成预定功能的动力源。有的一台机器只用一个原动机，即采用集中驱动；有的一台机器用几个原动机，即采用分别驱动。现代机器中主要以各种电动机和热力机为原动机，其中以各种类型的电动机应用最多。

执行部分用来完成机器的预定功能。一部机器可以只有一个执行部分，如前述的固定的卷扬式闸门启闭机，只具有将闸门提起或放下的功能。也可把机器的总功能分解成几个分功能，因而相应地有几个执行部分。如桥式起重机的起升机构执行将重物提升或放下的功能；小车运行机构执行横向运送重物的功能；大车运行机构执行纵向运送重物的功能。

传动装置把原动机的运动形式、运动和动力参数变换为执行部分所需的运动形式、运动和动力参数。例如，把旋转运动变为直线往复运动（或相反）、高转速变为低转速、小转矩变为大转矩等。

操纵控制系统是用以控制机器上述三部分协调动作并准确可靠地完成机器的预定功能。操纵控制系统采用机械、电气、液压、气动和电子等方式。显然，也可综合运用上述几种方式。微电子和信息技术与机械相结合，形成所谓机电一体化产品，是当前机械产品的一种发展趋势。这种机电一体化产品使机械产品发生了质的变化，它具有自动检测，自动数据处理，自动显示，自动调节、控制、诊断和自动保护等功能，使人机关系发生了根本的变化。

### 二、设计机器应满足的基本要求

#### （一）使用功能的要求

本世纪40年代末就有人提出：“用户购买的不是机器本身而是它的功能”。根据机器的功能要求和使用条件，正确地设计和选用能实现使用功能要求的执行部分、传动装置、原动机、控制系统以及辅助装置。

## (二) 经济性要求

机械产品的经济性表现在设计、制造和使用的整个过程。机械产品的成本等于生产费用加使用费用。生产费用包括研究设计、加工制造和材料费用；使用费用包括运行费用和维修费用。

提高设计和制造经济性的途径主要有：①尽量使产品系列化，部件通用化，零件标准化，或在设计中尽量采用系列化、通用化、标准化的零部件；②尽可能采用新技术、新工艺、新结构和新材料；③力求改善零件的结构工艺性，使其用料少、易加工、易装配。

提高机器使用经济性的主要途径是：①合理地提高机器的机械化自动化水平，以期提高机器的生产率；②提高机器的效率，降低能源消耗；③适当地采用防护和润滑，延长机器的使用寿命；④采用可靠的密封，消除不应有的渗漏现象。

## (三) 可靠性要求

机械产品的质量与可靠性的关系如图1-4

所示。机器的质量由两方面的指标来评价，一是与功能相关的技术指标，如汽轮机、水轮机的容量、效率等，这是机器的基本质量指标。

但是，即使机器的技术性能指标很先进，如果不可靠，使用过程中经常出故障，这种机器是

没有或很少有实际使用价值的。机器难免不发生故障，但发生故障应容易维修，以便迅速恢复正常。机器的可靠性与维修性的结合称为机器的有效性。

机器（或产品）的可靠性一般用可靠度、失效概率、失效率、平均寿命等其中的一个或几个指标来度量。

可靠度  $R$  是机器在规定的条件下和规定时间内完成规定功能的概率。机器由于某种原因而不能正常工作，叫失效（或故障）。失效可以失效概率  $F$  来度量。失效和正常工作是一对互斥事件，因此可靠度与失效概率之间的关系为

$$R + F = 1 \quad (1-1)$$

失效率  $\lambda(t)$  是机器工作到  $t$  时刻后单位时间内发生的失效概率。失效率越低，可靠性越高。

**【例 1-1】** 设有  $N$  台机器从  $t = 0$  开始工作，工作到  $t$  时有  $n$  台发生故障，在随后的  $(t + \Delta t)$  时间内，又有  $\Delta n$  台机器发生故障，试求这种机器的可靠度和失效率。

**解** 机器工作到  $t$  时刻的失效概率为

$$F = \frac{n}{N} \quad (1-2)$$

所以机器工作到  $t$  时刻的可靠度为

$$R = 1 - F = 1 - \frac{n}{N} \quad (1-3)$$

按照失效率的定义，机器工作到  $t$  时刻的失效率为

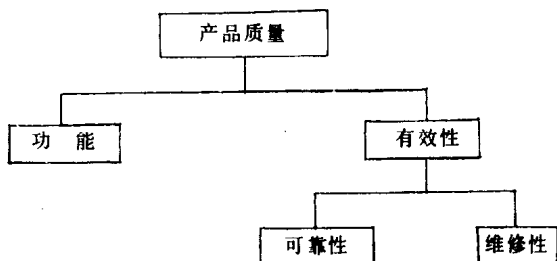


图 1-4 机械产品质量与可靠性关系

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n}{(N-n)\Delta t} \quad (1-4)$$

绝大多数机器发生故障后,可经维修而恢复正常工作,因此,机器的平均寿命一般可用平均故障间隔时间MTBF来表示。即从一次故障到下一次故障的平均时间。其表达式为

$$MTBF = \frac{\text{所有机器的总工作时间}}{\text{总故障次数}} \quad (1-5)$$

#### (四) 劳动保护要求

劳动保护要求有两方面的含义。一是使机器的操作者方便和安全。机器的操纵控制要按照人机工程学的要求设计,同时应设置完善的安全防护及保安装置、报警装置、显示装置等。二是改善操作者及机器的环境,降低机器运转时的振动、噪声,防止有毒、有害介质的渗漏等。

#### (五) 其他要求

对移动式机械,要求自重轻、体积小;对流动使用的机器要便于安装和拆卸;对大型机器要便于运输等。

#### (六) 好的造型美术设计

机器除了有内在质量外,还应有好的外观质量,即有好的工艺美术造型,如造型美观、形式新颖、色彩优美、比例协调等。

### §1-3 设计机器的一般程序

机器的设计阶段是决定机器质量的关键。要提高设计质量,必须有一个科学的设计程序。虽不能列出一个固定不变的机器设计程序,但是,根据人们设计机器的长期经验,可总结出具有一定规律性的机器设计程序,如图1-5所示。

#### 一、计划阶段

计划阶段的任务是根据提出的任务进行可行性论证,确定任务书。设计任务书大体上应包括:机器的功能、主要性能参数、经济性要求、制造要求、使用要求、时间安排等。

#### 二、方案设计阶段

方案设计对设计的成败起关键作用。明确了机器的功能和主要性能参数后,一般可提出若干可能解决的办法(即方案),经过对各方案进行技术、经济等评价后,择其最优方案。方案的评

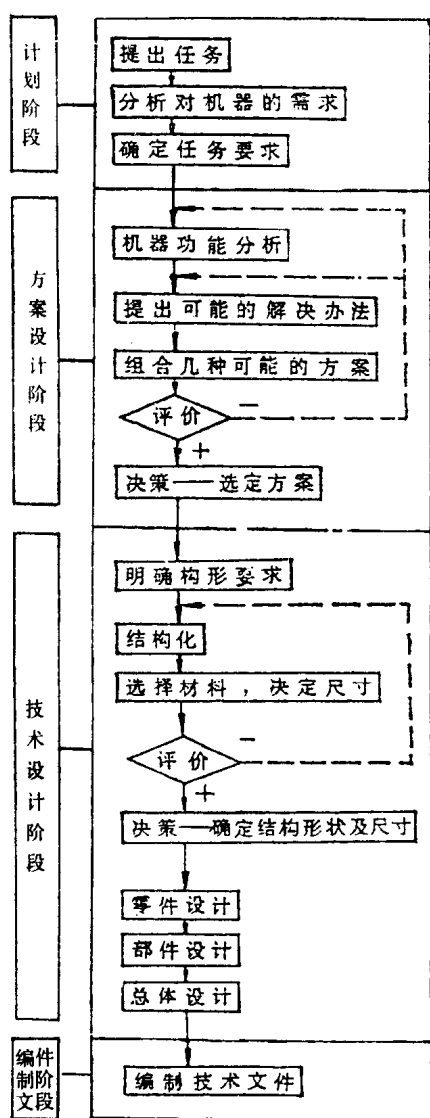


图 1-5 设计机器的程序

价方法有经验评价法、名次计分法、评分法、技术—经济综合优度图等。

### 三、技术设计阶段

技术设计阶段的具体成果是绘制总装配图、部件装配图和零件图，确定各零部件的相互联系、结构及其尺寸。

为了获得上述成果，这一阶段要做机器的运动学、动力学计算和零部件的强度、刚度、工作能力等计算。

前述机器设计程序不完全是固定不变的，其原因是上述三个阶段，尤其是方案和技术设计两个阶段经常需交叉进行。

### 四、技术文件编制阶段

技术文件的种类较多，通常有机器的设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表、外购件明细表等。

编制的设计计算说明书，应包括方案及其选择、技术设计阶段有关计算等内容。

编制的用户说明书，应向用户介绍机器的性能参数范围、使用操作方法、日常保养及简单的维修方法、备用件的目录等。

在机器的制造过程中，随时都有可能出现由于工艺原因而修改设计的情况，用户在使用过程中也会给设计部门反馈使用中存在的问题，设计者应根据这些反馈的信息，认真分析，对原设计进行修改，甚至改型。

## §1-4 机械零件常用材料及选择原则

### 一、机械制造中常用材料

机械制造中常用的材料的种类如图1-6所示。

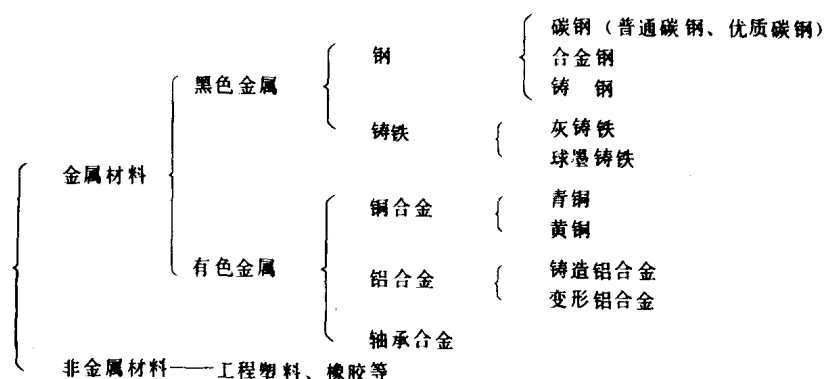


图 1-6 机械制造常用材料分类

### 二、机械零件常用材料选择原则

选择机械零件的材料，应根据零件所受载荷性质、工作条件、材料的性能、经济因素、市场供应等全面综合考虑。要求设计者在材料、工艺等方面具有较广泛的知识 and 实际经验。各种金属材料的大致使用范围可归纳如下。

### 1. 铸铁

(1) 铸铁是脆性材料, 强度相对较低, 故用于受静载和载荷相对较小的零件;

(2) 铸铁熔化后的流动性好, 便于铸造, 因此, 对于结构形状较复杂的零件和大尺寸(如机架)类零件常用铸铁。

### 2. 碳钢

碳钢具有高的强度、韧性和塑性, 并可用热处理方法改善其机械性能和加工性能。碳钢制零件的毛坯可用锻造、冲压、焊接等方法获得, 因此, 大多数机械零件均用碳钢制造。

(1) 承受变载、振动、冲击载荷、要求塑性好的零件;

(2) 需要通过热处理提高材料的强度、硬度等性能时, 应用优质碳素结构钢, 如45号钢使用很普遍;

(3) 锻造、焊接毛坯用含碳量较低的碳钢, 如Q215、Q235等。

(4) 冲压零件常用低碳钢, 如15、20号碳钢。

### 3. 合金钢

钢中添加合金元素可大大提高其机械性能和热处理的效果。例如镍能提高钢的强度而不降低钢的韧性; 铬能提高钢的硬度、高温强度、耐腐蚀性和耐磨性; 锰能提高钢的耐磨性、强度和韧性; 硅可提高弹性极限和耐磨性等。各种不同的合金钢, 具有不同的特性, 应根据其特性用于不同场合。

(1) 承受载荷大, 要求尺寸小的零件, 如汽车、航空用齿轮, 常使用20CrMnTi、18Cr2Ni4WA等;

(2) 既要有高的强度, 又要有较好的韧性和热处理性能的零件, 如较大功率的减速器小齿轮轴常用40Cr、40MnB等材料;

(3) 要求有特殊性能的零件, 如要求耐腐蚀的零件用不锈钢、耐高温的零件用耐热钢、耐磨的零件用抗磨钢等;

(4) 特别重要的零件

### 4. 铸钢

铸钢的液态流动性比铸铁差, 但其强度、韧性等比铸铁好。因此, 它主要用于要求强度高, 塑性、韧性好, 结构形状复杂或大尺寸零件。如齿顶圆直径大于400~600mm的减速器齿轮, 常用铸钢制造。机械零件常用铸钢牌号有ZG270-500、ZG310-570、ZG340-640等。

### 5. 铜合金

铜合金分青铜和黄铜。黄铜为铜锌合金, 并含有少量锰、铝、镍等, 它具有很好的塑性及流动性, 故可进行辗压和铸造。青铜分含锡青铜和不含锡青铜。青铜的减摩性和耐腐蚀性均较好, 也可辗压和铸造。铜合金主要用于:

(1) 要求减摩的零件, 如轴瓦、蜗轮、滑动螺旋的螺母等常用铸造青铜ZCuSn10P、ZCuPb10Sn10、ZCuSn5Pb5Zn5、ZCuAl10Fe5Ni5或锻造青铜CuSn8P、CuAl9Fe4Ni4等来制造。

(2) 要求既耐腐蚀又耐磨的零件, 如阀体、泵体、船舶螺旋桨等, 用ZCuAl8Mn13Fe3Ni2、



ZCuAl 9Fe4Ni4Mn2、ZCuAl 10Fe3、ZCuAl 10Fe3Mn2等来制造。

(3) 散热性好的零件, 如H68 A、HSn 70-1黄铜常用作冷凝器、散热器的热交换管道。

## §1-5 机械零件的失效形式与计算准则

在本章§1-2中已述及机械零件可能由于某种原因而不能正常工作, 即失效。由于机械零件的工作条件不同, 因此有不同的失效形式。在设计机械零件的过程中, 当确定它的形状和尺寸时, 除了依据机器的整体需要、工艺等条件外, 另一重要因素就是根据零件的失效形式所制定的计算准则。机械零件的主要失效形式及其相应的计算准则如下。

### 一、断裂

机械零件的断裂失效有两种情况。一种是在零件受拉、压、弯、扭、剪等外载荷作用下, 由于某一危险截面上的应力超过零件的强度极限而发生的断裂。这称之为零件的静强度。另一种是零件在循环变应力作用下, 应力循环达一定次数时, 零件危险截面产生的疲劳断裂(或失效)。疲劳断裂是大多数机械零件的主要失效形式。

### 二、过量的残余变形

如果作用于零件上的应力超过了材料的屈服极限, 则零件将产生残余变形。变形造成零件尺寸和形状的改变, 破坏零件或部件之间的相互位置或配合关系, 使机器不能正常工作。

机械零件的断裂和过量的残余变形均是机械零件的强度问题。机械零件的强度计算准则是零件危险截面中的应力不超过许用应力, 即

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{S} \quad (1-6)$$

式中  $\sigma$ ——零件危险截面的计算应力;

$\sigma_{lim}$ ——机械零件或材料的极限应力(详见本章§1-6);

$S$ ——安全系数。

### 三、刚度

刚度是零件受载时, 抵抗弹性变形的能力。在很多情况下零件的尺寸是根据刚度要求确定的。刚度计算准则是限定弹性变形量, 即

$$y \leq [y], \varphi \leq [\varphi] \quad (1-7)$$

式中  $y$ ——零件的变形量(伸长、挠度等);

$\varphi$ ——变形角(挠角、扭转角)。

许用变形量  $[y]$  或许用变形角  $[\varphi]$  根据零件的工作要求确定。例如, 齿轮轴的弯曲挠度  $y$  过大, 会破坏一对齿轮的正常啮合, 为此对  $y$  值应作适当限制,  $[y]$  和  $[\varphi]$  的具体数值将在有关章节中介绍, 或从机械设计手册中查得。

由于各类钢材的弹性模量  $E$  或  $G$  相差很小, 所以采用高强度钢代替低强度钢(如合金钢代替碳钢), 对提高刚度无多大效果。提高零件刚度的有效措施是改变截面形状和尺寸;