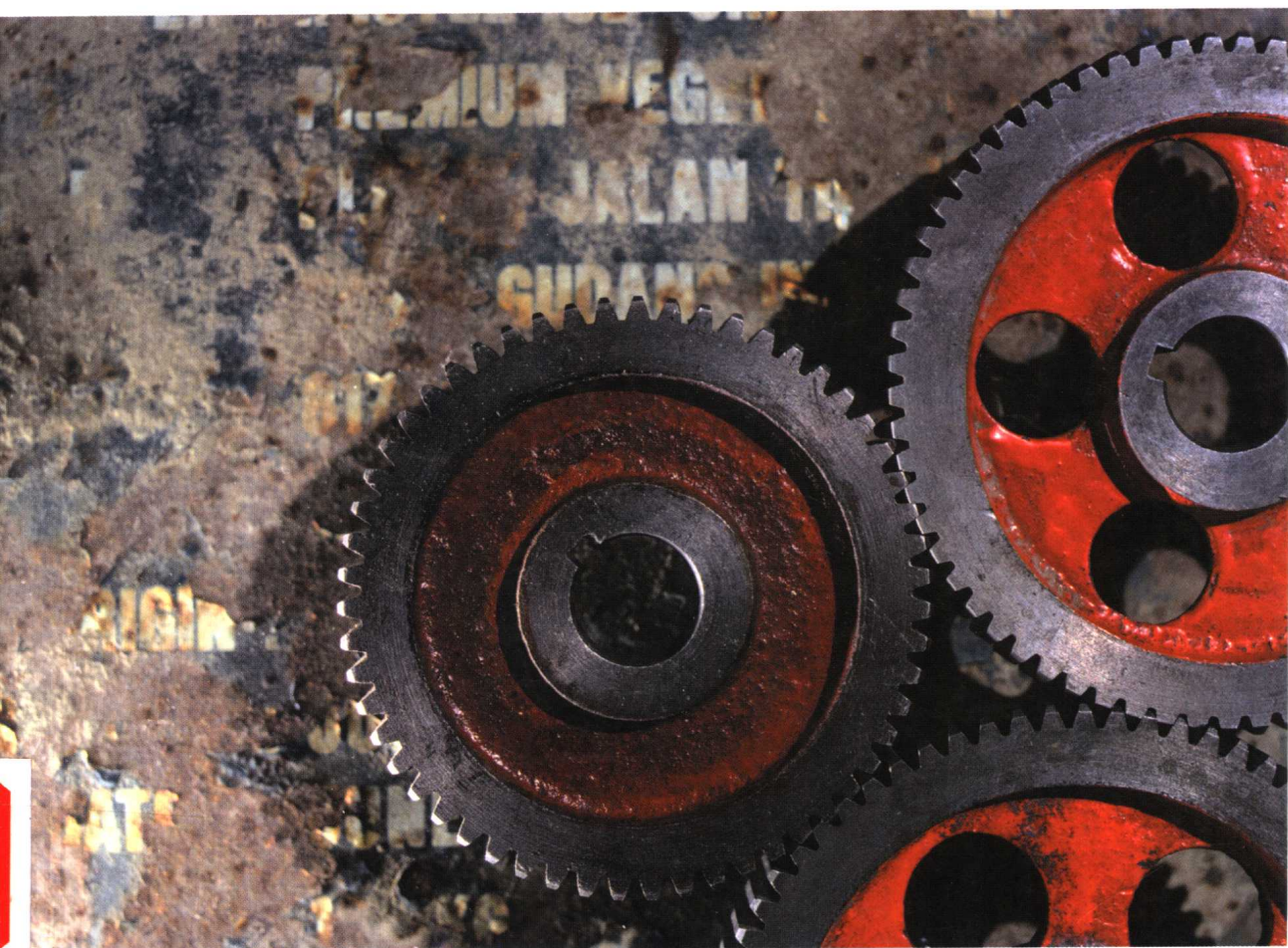


21 世纪高等院校教材

# 机械设计与理论

李柱国 主编



 科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

21 世纪高等院校教材

# 机械设计与理论

主 编:李柱国

副主编:许 敏

编 者:李柱国 沈乃勋

高雪官 许 敏

主 审:郭可谦

副主审:马培荪

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书详细介绍了机械设计概述、机械系统设计理论、机械零件设计概论、连接设计、机械传动设计、轴系零部件设计和其他零件设计。

本书可以作为高等院校机械工程及自动化等相关专业的本科生教材,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

机械设计与理论/李柱国主编. —北京:科学出版社,2003

(21世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-011472-8

I. 机… II. 李… 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(2003)第 040825 号

---

责任编辑:段博原/责任校对:柏连海

责任印制:刘秀平/封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2003年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2003年8月第一次印刷 印张:46

印数:1—4 000 字数:912 000

定价:39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

## 前 言

本书遵循国家教育部机械设计课程指导委员会颁布的《机械设计课程教学基本要求》文件的精神,总结上海交通大学机械设计及机械原理课程长期的教学经验,在参考上海交通大学出版社 1994 年出版的《机械设计》(第二版,沈继正主编)、上海科学技术出版社 1995 年出版的《机械设计基础》(上海交通大学、上海大学、山东工业大学、南方冶金学院合编)、上海交通大学出版社 1995 年出版的《机械设计原理》(邹慧君主编)以及国内其他高等院校编写的同类教材的基础上,结合机械设计学的最新发展,重新编写而成。本教材在阐述机械设计基本知识的同时,增加了创新设计等现代机械设计的思想和方法,力图强调学生的素质教育,培养其创新设计思维,提高其自学和独立设计的能力。本书采用了最新颁布的有关国家标准。根据不同学科专业的教学要求,教师可以挑选内容授课。除作为教材外,本书还可以作为机械设计类课程的参考书。

本书由李柱国担任主编,许敏担任副主编。具体编写分工如下:李柱国编写第 1 章、第 2 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 20 章、第 21 章、第 22 章、第 23 章、第 24 章、第 25 章;沈乃勋编写第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章;许敏编写第 11 章、第 12 章、第 13 章、第 14 章;高雪官编写第 15 章、第 16 章、第 17 章、第 18 章、第 19 章。全书由全国机械设计教学研究会理事长北京航空航天大学郭可谦教授主审,上海交通大学马培荪教授副主审。

由于编者水平所限,误漏之处恐属难免。殷切希望广大教师、学生和普通读者指正本书的不妥之处,指出修改意见。编者将致以衷心的感谢!

编 者  
2003.3

# 目 录

## 前言

## 第一篇 机械设计概述

|                 |   |
|-----------------|---|
| 第1章 绪 论         | 1 |
| 1.1 机械的组成       | 1 |
| 1.2 本课程的研究内容及性质 | 2 |
| 第2章 机械设计概述      | 3 |
| 2.1 机械设计的基本要求   | 3 |
| 2.2 机械设计的一般程序   | 3 |
| 2.3 现代机械设计方法综述  | 9 |

## 第二篇 机构系统设计理论

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第3章 机构的组成与分类              | 32  |
| 3.1 机构的组成与运动简图            | 32  |
| 3.2 平面机构的自由度计算及其具有确定运动的条件 | 41  |
| 3.3 平面机构的高副低代法            | 47  |
| 3.4 平面机构的分类、结构分析与组成原理     | 49  |
| 习题                        | 52  |
| 第4章 常用典型机构                | 57  |
| 4.1 平面连杆机构                | 57  |
| 4.2 凸轮机构                  | 76  |
| 4.3 齿轮机构                  | 99  |
| 4.4 轮系机构                  | 142 |
| 4.5 间歇运动机构                | 161 |
| 4.6 其他常用机构                | 170 |
| 4.7 广义机构                  | 179 |
| 习题                        | 186 |
| 第5章 机构系统设计                | 198 |
| 5.1 执行机构的运动规律与工艺动作        | 198 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 5.2 机构选型 .....                        | 210 |
| 5.3 机构的创新设计 .....                     | 225 |
| 5.4 机构系统的创新设计方法 .....                 | 234 |
| 5.5 执行机构的运动协调设计与运动循环图 .....           | 238 |
| 5.6 机械运动方案设计 .....                    | 251 |
| 习题 .....                              | 262 |
| <b>第 6 章 机构动力学</b> .....              | 265 |
| 6.1 平面机构力分析简介 .....                   | 265 |
| 6.2 机械系统的动力学模型 .....                  | 266 |
| 6.3 机械系统的运动方程及其求解 .....               | 272 |
| 6.4 机械系统的速度波动及其调节 .....               | 275 |
| 6.5 机械的平衡 .....                       | 285 |
| 习题 .....                              | 298 |
| <b>第 7 章 机构分析与综合中常用的数学方法及应用</b> ..... | 304 |
| 7.1 复数矢量法 .....                       | 304 |
| 7.2 直角坐标矢量法 .....                     | 314 |
| 7.3 坐标变换法 .....                       | 324 |
| 7.4 矩阵法 .....                         | 327 |
| 习题 .....                              | 337 |

### 第三篇 机械零件设计概述

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| <b>第 8 章 机械零件设计的基本要求及步骤</b> .....         | 342 |
| 8.1 机械零件设计的基本要求 .....                     | 342 |
| 8.2 机械零件的一般设计步骤 .....                     | 345 |
| 8.3 机械零、部件的标准化、系列化和通用化 .....              | 346 |
| <b>第 9 章 机械零件常用材料和结构工艺性</b> .....         | 347 |
| 9.1 机械零件常用材料 .....                        | 347 |
| 9.2 材料选择的基本原则 .....                       | 350 |
| 9.3 机械零件的结构工艺性 .....                      | 352 |
| <b>第 10 章 机械零件的强度设计</b> .....             | 356 |
| 10.1 机械零件的强度 .....                        | 356 |
| 10.2 材料的疲劳曲线、材料及零件的极限应力线图、零件极限应力的确定 ..... | 360 |
| 10.3 稳定变应力时塑性材料零件的强度设计 .....              | 368 |
| 10.4 非稳定变应力时机械零件的疲劳强度计算 .....             | 370 |

|      |                    |     |
|------|--------------------|-----|
| 10.5 | 机械零件的表面强度计算·····   | 372 |
| 10.6 | 提高机械零件强度的若干措施····· | 374 |
| 10.7 | 附表·····            | 375 |
|      | 习题·····            | 380 |

## 第四篇 连接设计

|               |                          |            |
|---------------|--------------------------|------------|
| <b>第 11 章</b> | <b>螺纹连接</b> ·····        | <b>383</b> |
| 11.1          | 概述·····                  | 383        |
| 11.2          | 螺纹连接的基本类型和螺纹连接件·····     | 388        |
| 11.3          | 螺纹连接的预紧和防松·····          | 392        |
| 11.4          | 单个螺栓连接的强度计算·····         | 398        |
| 11.5          | 螺栓组连接的设计·····            | 405        |
| 11.6          | 提高螺栓组连接强度的措施·····        | 412        |
|               | 习题·····                  | 418        |
| <b>第 12 章</b> | <b>键、花键、销及型面连接</b> ····· | <b>421</b> |
| 12.1          | 键连接·····                 | 421        |
| 12.2          | 花键连接·····                | 427        |
| 12.3          | 销连接·····                 | 430        |
| 12.4          | 型面连接·····                | 433        |
|               | 习题·····                  | 434        |
| <b>第 13 章</b> | <b>过盈连接</b> ·····        | <b>435</b> |
| 13.1          | 概述·····                  | 435        |
| 13.2          | 圆柱面过盈连接的设计计算·····        | 437        |
|               | 习题·····                  | 443        |
| <b>第 14 章</b> | <b>铆接、焊接和胶接</b> ·····    | <b>444</b> |
| 14.1          | 铆接·····                  | 444        |
| 14.2          | 焊连接·····                 | 448        |
| 14.3          | 胶连接·····                 | 454        |
|               | 习题·····                  | 457        |

## 第五篇 机械传动设计

|               |                     |            |
|---------------|---------------------|------------|
| <b>第 15 章</b> | <b>齿轮传动</b> ·····   | <b>458</b> |
| 15.1          | 概述·····             | 458        |
| 15.2          | 主要参数、几何计算和制造精度····· | 460        |

|               |                                |            |
|---------------|--------------------------------|------------|
| 15.3          | 受载分析及应力分析·····                 | 467        |
| 15.4          | 轮齿失效形式和承载能力计算准则·····           | 475        |
| 15.5          | 齿轮常用材料和许用应力·····               | 479        |
| 15.6          | 直齿圆柱齿轮传动的承载能力计算·····           | 487        |
| 15.7          | 斜齿圆柱齿轮传动的承载能力计算·····           | 494        |
| 15.8          | 直齿圆锥齿轮传动的承载能力计算·····           | 497        |
| 15.9          | 齿轮结构设计·····                    | 499        |
| 15.10         | 齿轮传动的润滑·····                   | 502        |
| <b>第 16 章</b> | <b>蜗杆传动</b> ·····              | <b>513</b> |
| 16.1          | 概述·····                        | 513        |
| 16.2          | 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算·····      | 516        |
| 16.3          | 蜗杆传动的效率、自锁和润滑·····             | 522        |
| 16.4          | 受力分析、失效形式和计算准则·····            | 524        |
| 16.5          | 材料、许用应力和制造精度·····              | 526        |
| 16.6          | 工作能力计算·····                    | 529        |
| 16.7          | 蜗杆和蜗轮的结构·····                  | 532        |
| <b>第 17 章</b> | <b>带传动</b> ·····               | <b>536</b> |
| 17.1          | 概述·····                        | 536        |
| 17.2          | 普通 V 带、V 带轮、普通 V 带传动的几何计算····· | 538        |
| 17.3          | 普通 V 带传动的工作能力分析 & 计算·····      | 543        |
| 17.4          | 普通 V 带传动的设计·····               | 552        |
| 17.5          | 其他带传动简介·····                   | 556        |
| <b>第 18 章</b> | <b>链传动</b> ·····               | <b>559</b> |
| 18.1          | 概述·····                        | 559        |
| 18.2          | 传动链的结构、规格和材料·····              | 559        |
| 18.3          | 链轮·····                        | 562        |
| 18.4          | 链传动的运动特性·····                  | 563        |
| 18.5          | 链的受力、失效和许用功率·····              | 565        |
| 18.6          | 滚子链传动主要参数的确定·····              | 568        |
| 18.7          | 链传动的布置、张紧和润滑·····              | 570        |
| 18.8          | A 系列滚子链传动的设计·····              | 571        |
| <b>第 19 章</b> | <b>螺旋传动</b> ·····              | <b>573</b> |
| 19.1          | 概述·····                        | 573        |
| 19.2          | 螺旋传动的运动关系·····                 | 574        |
| 19.3          | 螺旋传动的失效和材料·····                | 575        |
| 19.4          | 螺旋传动的计算·····                   | 575        |

|               |     |
|---------------|-----|
| 19.5 滚动螺旋传动简介 | 578 |
|---------------|-----|

## 第六篇 轴系零、部件

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第 20 章 轴</b>            | 580 |
| 20.1 概述                    | 580 |
| 20.2 轴的材料                  | 581 |
| 20.3 轴的概略计算                | 583 |
| 20.4 轴的结构设计                | 584 |
| 20.5 轴的强度校验计算              | 587 |
| 20.6 轴的刚度校验计算              | 589 |
| 20.7 轴的振动计算                | 592 |
| 习题                         | 599 |
| <b>第 21 章 滑动轴承</b>         | 602 |
| 21.1 概述                    | 602 |
| 21.2 滑动轴承的主要类型和结构          | 602 |
| 21.3 滑动轴承的材料               | 606 |
| 21.4 润滑剂和润滑方法              | 609 |
| 21.5 不完全液体摩擦滑动轴承的设计        | 612 |
| 21.6 动压滑动轴承动压油膜形成原理和压力分布方程 | 614 |
| 21.7 动压径向滑动轴承的设计           | 617 |
| 21.8 其他滑动轴承简介              | 623 |
| 习题                         | 627 |
| <b>第 22 章 滚动轴承</b>         | 628 |
| 22.1 滚动轴承的构造与特点            | 628 |
| 22.2 滚动轴承的分类、代号及其特点        | 629 |
| 22.3 滚动轴承类型及结构型式选择         | 639 |
| 22.4 载荷及应力分析、工作载荷的确定       | 643 |
| 22.5 主要失效形式和计算准则           | 648 |
| 22.6 额定寿命和额定动载荷计算          | 649 |
| 22.7 静载荷计算                 | 654 |
| 22.8 滚动轴承装置设计              | 655 |
| 22.9 附录 常用滚动轴承尺寸和主要性能参数    | 669 |
| 习题                         | 673 |
| <b>第 23 章 联轴器、离合器与制动器</b>  | 675 |
| 23.1 联轴器                   | 675 |

|               |     |
|---------------|-----|
| 23.2 离合器..... | 687 |
| 23.3 制动器..... | 695 |
| 习题.....       | 698 |

## 第七篇 其他零件

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第 24 章 弹簧</b> .....           | 699 |
| 24.1 弹簧的功能及类型.....               | 699 |
| 24.2 弹簧的制造、材料和许用应力 .....         | 700 |
| 24.3 圆柱螺旋拉伸、压缩螺旋弹簧的结构及特性曲线 ..... | 703 |
| 24.4 圆柱拉伸、压缩螺旋弹簧的设计计算 .....      | 707 |
| 24.5 圆柱扭转弹簧的设计.....              | 711 |
| 24.6 其他弹簧简介.....                 | 712 |
| 习题.....                          | 717 |
| <b>第 25 章 机架和箱体</b> .....        | 719 |
| 25.1 概述.....                     | 719 |
| 25.2 机架、箱体的材料及制造 .....           | 720 |
| 25.3 机架、箱体截面形状及肋板的选择设计 .....     | 720 |
| 25.4 机架、箱体的壁厚选择 .....            | 722 |
| <b>参考文献</b> .....                | 723 |

# 第一篇 机械设计概述

## 第 1 章 绪 论

机械工业是国家经济发展的主要基础之一，几乎涉及所有的领域和部门。现代机械设计与生命科学、信息技术、材料科学一样，也是 21 世纪的主要研究和发展方向。现代机械设备包括智能机器人、全自动工作机械设备、全自动加工机械设备以及全自动控制动力机械设备等等。几乎机械的创新设计是所有机械设备完善、发展的第一步。机械学理论的创新理念、机械设计方法的创新思维显然是现代机械工业发展的前提和基础。

本课程涉及机械设计的基础理论和基本方法，因此属于机械设计的基础知识。主要论述机械设计基本概念、基本原理以及机械零件设计的基本方法。

### 1.1 机械的组成

通常，机械是机器和机构的总称。

机器种类很多，一般机器具有三个特征：①实物的组合；②各组合部分之间具有确定的相对运动；③可以完成机械功或转换机械能与电能。而只具有①、②特征的构件组合，通常称为机构。机构是由构件组成，而且具有一定的相对运动关系。因此，构件是机构运动分析的基本单元。

一般机器可分为两大类：动力机和工作机，提供或转换机械能的机器称为动力机，例如内燃机、燃气轮机、电动机等；利用机械能实现工作功能的机器称为工作机，例如机床、起重机、轧钢机、洗衣机等。

用来进行信息传递和变换的机器称为仪器，例如测量仪、照相机、录像机、电视机、光谱仪等。

机器由动力装置、传动装置、执行装置及其支架基础四个基本部分组成。现代自动化程度高的机器，还包括自动控制系统、监测系统及辅助系统。

机器是由零件组成，零件具有一定的形状、尺寸和材料实体关系，是机器的组成要素和制造单元。为了便于制造、安装、维修和运输，也可以将一台机器分

成若干个相互独立,但又相互关联的零件组合,称为部件。显然部件是由一定数目的机械零件组成的。

机械零件一般可以分为两大类:通用零件和专用零件。可以广泛应用于各种不同类型的机器中的机械零件称为通用零件。仅能在某种类型的机器中使用的机械零件称为专用零件,例如内燃机的曲轴、活塞,汽轮机的叶片,船舶的螺旋桨,机器人的机械手。

为了便于生产,降低成本,适用于标准化选用,多数通用零件具有固定的尺寸和参数。这种零件称为常规通用零件。具有标准代号的零件或部件又称为标准件。在特种工况下使用、满足个别特殊尺寸、参数要求的通用零件,称为特殊通用零件。

## 1.2 本课程的研究内容及性质

机械设计与理论课程作为现代机械设备设计基础的入门课程,介绍机械设计的基本知识、基本理论和基本方法,研究机械设计中常用机构的运动分析方法,以及常用通用机械零件的设计方法。

具体内容是:

(1) 研究常用机构的基本设计方法及创新设计方法。常用机构包括:连杆机构、齿轮机构、凸轮机构、间歇机构及轮系。重点介绍常用机构的组成、工作机理、运动特性、动力特性等知识。

(2) 研究通用零部件的基本设计方法。通用零部件主要包括:①连接零件(螺纹连接、普通导键连接、花键连接及销连接、焊连接、胶连接等);②传动零件(齿轮传动、蜗杆-蜗轮传动、带传动、链传动等);③轴系零件(轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器、离合器等);④弹簧零件;⑤机架及箱体。

(3) 介绍现代设计方法及创新设计思维。

(4) 国家标准、设计手册的查阅方法。

通过教学、习题、研讨、实验、使学生掌握机械设计的基本理论和方法,具有运用机械设计手册、标准等资料的能力,为从事现代机械设备的设计打好基础。

本课程的特点是:设计的创新性、实践性,设计方法的综合性及标准规范通用性。

## 第 2 章 机械设计概述

### 2.1 机械设计的基本要求

根据设计的机器的使用要求,创建新颖的功能及机械结构,选择适当的材料,确定恰如其分的尺寸及精度、制订先进的工艺,从而实现一种新机器的创新构思这个过程就是机械设计。

通常机械设计应满足下列基本要求:

#### 1. 使用方面的要求

新设计的机器应达到实现功能的要求,包括在规定的寿命使用期内实现功率、速度、精度以及某些特殊使用要求。

#### 2. 经济性要求

从机械设计、制造、使用到维修都应始终考虑到经济性要求。设计时,在满足使用要求,实现功能的过程中,应处处考虑降低成本,采用先进的设计理论、方法,如 CAD 技术、虚拟设计,一次成功。机构和结构的设计要力求简单、紧凑、轻便、稳定。要合理地规定结构尺寸、精度、表面质量,多用标准化、通用化、系列化的零部件。要少用价格昂贵的材料,采用先进的制造工艺技术,便于加工、装配,从而缩短制造周期,减少制造费用、降低材料及能源的消耗。

#### 3. 社会性要求

新设计的机器应附合新时代的社会要求。例如,要操作方便、省力、舒适、安全;造型大方、精巧、流畅;色彩明快、雅致,使人愉快,赏心悦目。21 世纪尤其应满足环保的“绿色”要求,尽量降低噪音、振动,减少废气、废液排放,避免对环境的污染,甚至应想到机器报废后,各部件都有合理的处理方法。

另外,现代机械设计重视市场的要求,尤其是在预测市场的趋势和未来的基础上,遵循从过去、现在的实践中来,经过现代机械设计的创新构思,又回到现在和未来的实践中去的路线。

### 2.2 机械设计的一般程序

通常,机械设计过程可以分为五个阶段,见表 2-1。

表 2-1 机械设计的一般程序

| 阶 段       | 程 序                                                              | 要 求                                                    |
|-----------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| I. 计划     | 1. 提出设计任务<br>2. 进行可行性研究<br>3. 编制设计任务书                            | 提出可行性报告和设计任务书                                          |
| II. 方案设计  | 4. 机器功能分析和综合<br>5. 提出各种原理性设计方案<br>6. 进行技术经济分析<br>7. 决策           | 提出最佳的原理性设计方案——原理图和机构运动简图（即传动系统图）                       |
| III. 技术设计 | 8. 设计并绘制总体结构草图<br>9. 进行技术经济分析<br>10. 绘制总装配图和部件装配图，绘制电路系统图、润滑系统图等 | 提出总装配图、部件装配图和电路、润滑等系统图                                 |
| IV. 施工设计  | 11. 设计并绘制零件施工（工作）图<br>12. 编制技术文件                                 | 提出零件工作图、计算说明书、使用说明书、外购零件明细表、工艺文件等                      |
| V. 样机试制   | 13. 样机试制及试验<br>14. 报批投产                                          | 提出样机试制和试验报告，提出申报投产报告、经济评价报告                            |
| VI. 售后服务  | 15. 收集市场及用户反馈信息<br>16. 提出完善设计建议和新一代产品的设计方案                       | 提出产品性能的新要求，产品时装造型改进报告、操作简便、改进报告以及防污染改进报告等，为推出新一代产品做好准备 |

### 2.2.1 计划阶段

设计任务是一种市场经济需求，可由用户或生产制造商提出，应尽可能具有超前时代的意识。它应有科学根据地提出设计任务，既高瞻远瞩，具有创新性，又实际可行。

根据设计任务书进行项目可行性研究，包括机会研究、初步研究、详细研究，最后提出评价报告。详见表 2-2。

表 2-2 可行性研究内容及要求

| 步 骤  | 研究内容                                            | 目 标             |
|------|-------------------------------------------------|-----------------|
| 机会研究 | 论证产品原理是否先进和可行，与科学技术和国民经济发展的关系，确定是否值得投资          | 论证投资方向，确定是否值得投资 |
| 初步研究 | 较全面地研究产品的技术先进性、适宜性和经济性，较精确地进行成本和投资计算，作出经济效益初步评价 | 作经济效益初步评价       |

续表

| 步 骤  | 研究内容                                                                                                                                                                     | 目 标                                     |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 详细研究 | 就产品的技术（技术水平、技术趋势、生产工艺与技术现状的适应性、产品的生命期等）、经济（产品成本、投资金额、资金筹措、利润、偿还期等）、社会问题（是否存在污染、是否符合技术政策法规等）、工程条件（原材料来源、燃料来源、配套件和协作件供应等）、市场条件（目前市场需要量、预测市场需要量、市场竞争能力、销售比例等）进行详细研究，进行多方案比较 | 就产品技术、经济、社会因素、工程条件、市场条件等进行详细研究并作多方案比较   |
| 评价报告 | 对产品的技术、经济、社会问题、工程条件、市场问题进行全面评价，作出最后结论                                                                                                                                    | 提出一个认为最佳的方案，或提出几个方案陈述利弊供决策者决定，或结论为“不可行” |

如可行性研究报告结论是可行的，则将其完善并提出具体的、详尽的设计任务书。详见表 2-3。

表 2-3 设计任务书内容参考表

|      |                                                                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 产品功能 | <p>运动参数：运动形式、方向、转速、变速要求、加速度等</p> <p>动力特性：能源种类、功率、转矩、效率、载荷方向及性质等</p> <p>材料：主要零部件的材料特性及材料供应等</p> <p>信号：压力、温度、电流、电压等测量方法，控制要求，精度要求等</p> |
| 经 济  | <p>体积尺寸（长、宽、高）、重量要求</p> <p>生产率</p> <p>最高允许成本、生产批量</p>                                                                                |
| 制 造  | <p>加工：公差、表面粗糙度、特殊加工条件、专用加工设备等</p> <p>检验：测量和检验的仪表和检验方法等</p> <p>装配：装配要求，地基要求和安装现场要求等</p>                                               |
| 使 用  | <p>使用对象、环境、年限、可靠度要求</p> <p>安全、过载保护装置等</p> <p>环境要求：噪声标准，废气、废液等排放要求，特殊环境等</p> <p>人机学要求：操纵、控制、照明、维修等</p> <p>工艺美学要求：外观、色彩、造型等</p>        |
| 期 限  | 设计完成日期、研制完成日期、供货日期等                                                                                                                  |

2.2.2 功能原理设计（方案设计）阶段

在机械设计程序中，功能原理的方案设计是具有战略意义的最关键的设计阶段。方案设计工作应从分析新产品的功能开始。产品的功能是指产品的用途和功用。通常，一台机器总是由若干个部件组成，所以一台机器的总功能可以分解为各个部件的分功能，而分功能还可以进一步分解为若干个更小的功能单位，称之为功能元。总功能通过分析和分解可构成一个由分功能和功能元组成的系统。每个功能元通常可由多种原理予以实现，亦有多种解决方案。综合分析评价后，以决策选定最佳方案。

例如，某台机器，其总功能可分解为  $m$  个分功能，而每个分功能有  $n$  个解决方案，那么就可将该系统的各个分功能作为目标标记，将分功能的各种解决方案作为目标特征，建成形态学矩阵，通过组合获得该机器的一系列原理性设计方案。表 2-4 为挖掘机方案设计实例说明。

表 2-4 挖掘机功能分析及设计方案数

挖掘机方案设计  
 功能分析及分解:取物运物

————  
 ————  
 ————  
 ————  
 ————

A 动力源

运物

取物

{ B 移位传动  
 { C 移位  
 { D 取物传动  
 { E 取物

挖掘机方案形态学矩阵

| 分功能    | 解 法   |      |       |      |       |      |
|--------|-------|------|-------|------|-------|------|
|        | 1     | 2    | 3     | 4    | 5     | 6    |
| A 动力源  | 电动机   | 汽油机  | 柴油机   | 蒸汽透平 | 液动机   | 气动马达 |
| B 移位传动 | 齿轮传动  | 蜗杆传动 | 带传动   | 链传动  | 液力耦合器 |      |
| C 移位   | 轨道及车轮 | 轮胎   | 气垫    | 履带   |       |      |
| D 取物传动 | 拉杆    | 绳传动  | 液压缸传动 | 气缸传动 |       |      |
| E 取物   | 挖斗    | 抓斗   | 钳式斗   |      |       |      |

挖掘机设计方案的可能组合数

$n = 6 \times 5 \times 4 \times 4 \times 3 = 1\,440$  种

例如: A1 + B4 + C3 + D2 + E1——履带式(挖掘机)方案

A5 + B5 + C2 + D4 + E2——液压轮胎式(挖掘机)方案

对初步选定的设计方案应进行三方面的评价：技术评价、经济评价和社会评价。

设计评价的方法很多。不同的产品，不同的使用环境工况，甚至不同的时期，其要求的侧重点不同，要求的性能或工作指标不同，应根据具体情况进行

评价。

下面简单介绍一种常用的方法——经济综合评价法。此法是对设计方案首先分别进行技术评价和经济评价，求得作为技术评价依据的技术价值数  $X$ ， $X$  为无因次值， $0 \leq X \leq 1$ 。 $X=1$  为最好；0.8 为非常好；0.7 为好； $X < 0.6$  时则为不合要求。同时求得作为经济评价依据的经济价值数  $Y$ 。 $Y$  也为无因次数； $0 \leq Y \leq 1$ 。 $Y=0.7$  就意味着经济效果甚好， $Y < 0.7$  时，应需要较高的技术价值数  $X$  来补偿。最后由  $X$  和  $Y$  合成一个“准优” $S$  来对设计方案进行评价。

图 2-1 为技术经济对比图。图中  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  代表三种设计方案的技术价值和经济价值， $S$  点是最理想的设计方案， $X=1$ ， $Y=1$ 。 $OS$  线上各点代表技术价值和经济价值相等的设计方案。显然，靠近  $OS$  线且愈接近  $S$  的点，技术-经济价值愈高，其设计方案愈佳。如图 2-1 中，方案  $S_3$  优于方案  $S_2$ ，方案  $S_2$  优于方案  $S_1$ 。如果两个设计方案的技术-经济评价相同，一般应取技术价值  $X$  较大的设计方案，即  $S_3$  与  $S_4$  相比取  $S_4$  方案。

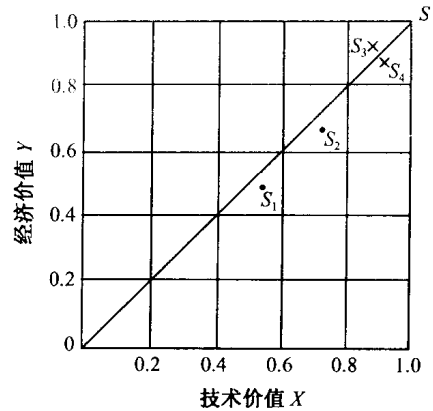


图 2-1 技术、经济价值比例

通常可以通过改善设计、简化结构、减少零件及实现标准化，采用新材料，以及更合理的精度、技术条件要求提高技术-经济价值。

总之功能原理设计要求创新扬新，思维发散，多解优化，采用新技术、新材料、新工艺。

### 2.2.3 技术设计（实用化设计）阶段

原理性设计方案简图类似机器的骨架，必须使其具体化，设计并绘制成总体结构图，即总装配图。由于机器一般总是分成若干个部件，故除总装配图外，还需设计并绘出各个部件的装配图，这都要在技术设计阶段中来完成。

技术设计的一般过程如下：

- 1) 具体确定动力机的类型、型号、运动参数（如转速）和动力参数（如功率）；
- 2) 对机器的传动装置和执行装置进行运动学和动力学计算，确定各级传动的传动比，确定传动零件、轴系零件、连接零件、执行零件等主要零件的载荷（包括载荷大小、方向、性质等）和运行速度等；
- 3) 判定各主要零件的主要失效形式，确定工作能力（如强度、刚度等）计