

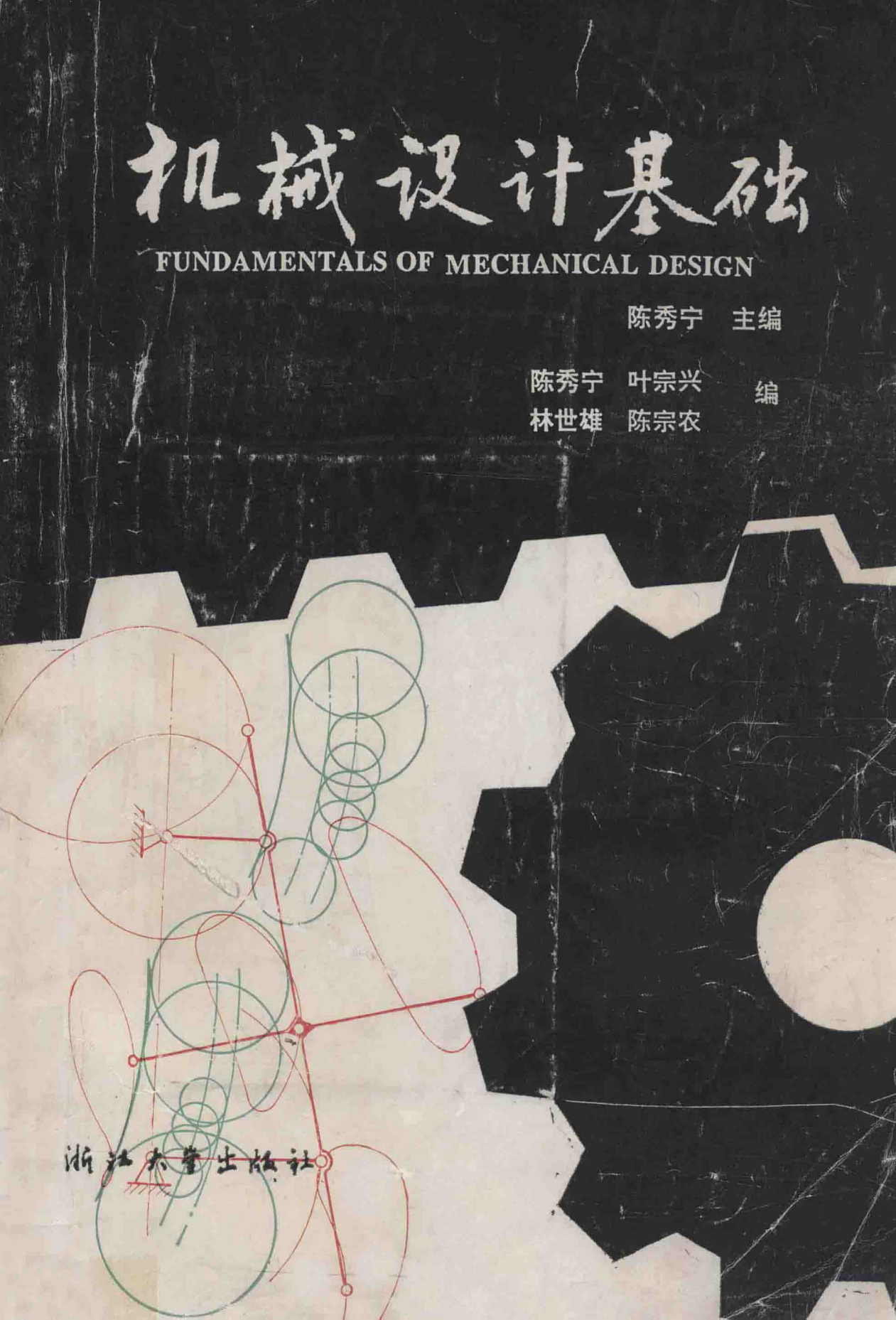
# 机械设计基础

FUNDAMENTALS OF MECHANICAL DESIGN

陈秀宁 主编

陈秀宁 叶宗兴 编  
林世雄 陈宗农

浙江大学出版社



# 机械设计基础

陈秀宁 主编

陈秀宁 叶宗兴 编  
林世雄 陈宗农

浙江大学出版社

(浙)新登字 10 号

## 内 容 简 介

全书共 20 章,内容有总论(主要讲述机械的组成、机械设计的基本知识),各种机械传动及通用零部件的工作原理、结构特点和设计计算方法,机械运转的调速和平衡,机械设计综述(包括执行构件运动和动力的确定,传动系统方案的拟定,结构合理设计、机械现代设计),液压传动和气压传动。书末附有思考题与习题 180 道。

本书可作为高等工科院校近机类专业及有关专业机械设计基础课程的教材,也可作为成人院校有关专业的教材和工程技术人员的参考书。

## 机 械 设 计 基 础

陈秀宁 主编

陈秀宁 叶宗兴 编  
林世雄 陈宗农

责任编辑 宋纪浔

---

浙江大学出版社出版  
浙江大学出版社计算机中心电脑排版  
杭州富阳何云印刷厂印刷  
浙江省新华书店发行

---

787×1092 16 开 23.75 印张 611.2 千字  
1993 年 12 月第 1 版 1994 年 1 月第 2 次印刷  
印数:1001—11000

ISBN 7-308-01303-0/TB·018 定价:13.50 元

## 序

随着我国国民经济的不断发展,对有关专业毕业生的机械设计能力要求不断提高。要求他们有更强的创造性和设计构思能力,有更广泛的基础理论和更丰富的实际知识,掌握新的科学成就和更强的自学能力。这些要求不是一门课就能包揽的,但机械设计基础无疑要起重要作用。

为达到上述要求,本书在课程改革方面作了很多有意义的工作。如原机械原理和机械零件内容的有机结合,加强整机设计的内容,增强方案分析和结构设计能力,加入液压、气动的基本知识,反映现代设计理论和方法的基本内容和概念等,都是很好的安排。本书引入许多最新的国家标准,编写了较多的习题和思考题,采用了“可拆加递推”结构,提高了本书的新颖性、适用性和灵活性。

因此本书不仅符合1987年批准实行的《机械设计基础教学基本要求》,而且很好地体现了制定教学基本要求的指导思想,能按实际情况和教学需要比较灵活地安排教学内容。本书的编写出版有利于推动广大教师努力改进教学,改革教学体系和教学方法,造成生动活泼、各具特色、教学蓬勃发展的局面。

此外,参加本书编写的教师新老结合,以老带新,正反映当前教师新老交替,中青年教师迅速成长的可喜局面。

希望这本书能顺利地出版和发行,在课程改革和编写有特色的新教材方面起促进作用,使本课程能更好地满足我国生产和建设的需要。

吴宗厚

1993年7月18日

1993年7月18日

# 前 言

本书是根据国家教委1987年批准印发的《机械设计基础(原机械原理及机械零件)课程教学基本要求》、结合教育改革实践编写的,主要作为高等工科院校机械设计基础课程讲授80~100学时的教材。

本书编写的主导原则是保证课程的基本知识、基本理论和基本方法,并着意以下几点改革:

1. 在体系上改变习用的机械原理和机械零件内容截然分割为有机结合;
2. 在阐述机械的组成、机械设计的基本知识以及各零部件、机构设计以后,专设机械设计综述一章,以强化整机设计的内容;
3. 针对课程中的薄弱环节,引导和增强方案分析与结构设计的能力;
4. 反映现代机械的组成和机械设计的新技术、新方法。增设液压传动和气压传动一章;
5. 有关章节和内容的编写采取“可拆加递推”的结构,便于不同层次和不同专业在教学中取舍选用;
6. 全书所列的标准、规范和设计资料,尽量采用最新颁布的、较成熟的数据;
7. 书末附有思考题与习题180道,其中有些题目则是作为教学内容的扩展。

参加本书编写的有:陈秀宁(第1、2、9、14、19、20章及思考题与习题),叶宗兴(第5、8、15、16章),林世雄(第3、4、10、11、12章),陈宗农(第6、7、13、17、18章)。全书由陈秀宁主编。

马骥教授精心主审了全部书稿,姚一飞副教授、汪国梁副教授参加了审阅工作。国家教委机械设计课程教学指导组组长全永昕教授对本书编写给予很多指导,并为本书题写了书名,副组长吴宗泽教授热情为本书作序。许多专家对本书编写提出热情而中肯的建议,吴碧琴先生为本书整理书稿并作润色,编者在此一并致以衷心的感谢。

限于编者水平,书中误漏和不妥之处殷切期望读者批评指正。

编 者

1992年12月于杭州

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一章 总论                      | 1  |
| § 1-1 机械的组成                 | 1  |
| § 1-2 本课程研究的内容和目的           | 3  |
| § 1-3 机械运动简图及平面机构自由度        | 3  |
| § 1-4 机件的失效及其工作能力准则         | 9  |
| § 1-5 机件的常用材料及其选用           | 13 |
| § 1-6 机械设计的基本要求和一般程序        | 17 |
| 第二章 联接                      | 19 |
| § 2-1 螺纹联接                  | 19 |
| § 2-2 键联接、花键联接和成形联接         | 35 |
| § 2-3 销联接                   | 39 |
| § 2-4 铆接、焊接和粘接              | 40 |
| § 2-5 过盈联接                  | 44 |
| 第三章 带传动                     | 46 |
| § 3-1 带传动的组成、特点和应用          | 46 |
| § 3-2 V 带和 V 带轮             | 48 |
| § 3-3 带传动的受力分析和应力分析         | 51 |
| § 3-4 带传动的弹性滑动和打滑           | 54 |
| § 3-5 普通 V 带传动的设计计算         | 55 |
| § 3-6 其他带传动简介               | 61 |
| 第四章 链传动                     | 62 |
| § 4-1 链传动的组成、特点和应用          | 62 |
| § 4-2 链条和链轮                 | 62 |
| § 4-3 链传动的运动特性和受力分析         | 67 |
| § 4-4 滚子链传动的失效分析和设计计算       | 69 |
| § 4-5 链传动的布置和润滑             | 73 |
| 第五章 齿轮传动                    | 76 |
| § 5-1 概述                    | 76 |
| § 5-2 齿廓啮合的基本定律             | 76 |
| § 5-3 渐开线齿廓                 | 78 |
| § 5-4 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称及基本尺寸 | 80 |
| § 5-5 渐开线直齿圆柱齿轮正确啮合和连续传动的条件 | 83 |
| § 5-6 渐开线直齿圆柱齿轮的加工及精度       | 86 |



|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| § 5-7 轮齿的失效和齿轮材料 .....           | 92  |
| § 5-8 直齿圆柱齿轮传动的强度计算 .....        | 96  |
| § 5-9 斜齿圆柱齿轮传动 .....             | 105 |
| § 5-10 锥齿轮传动 .....               | 114 |
| § 5-11 齿轮结构 .....                | 121 |
| § 5-12 齿轮传动的润滑和效率 .....          | 125 |
| § 5-13 变位齿轮传动 .....              | 126 |
| § 5-14 圆弧齿轮传动简介 .....            | 132 |
| <b>第六章 蜗杆传动</b> .....            | 135 |
| § 6-1 概述 .....                   | 135 |
| § 6-2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算 ..... | 136 |
| § 6-3 蜗杆传动的运动分析和受力分析 .....       | 139 |
| § 6-4 蜗杆传动的失效形式、材料和结构 .....      | 140 |
| § 6-5 蜗杆传动的强度计算 .....            | 141 |
| § 6-6 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算 .....     | 142 |
| § 6-7 新型蜗杆传动简介 .....             | 145 |
| <b>第七章 轮系、减速器及机械无级变速传动</b> ..... | 148 |
| § 7-1 轮系的应用及分类 .....             | 148 |
| § 7-2 定轴轮系及其传动比 .....            | 150 |
| § 7-3 周转轮系及其传动比 .....            | 151 |
| § 7-4 混合轮系及其传动比 .....            | 153 |
| § 7-5 几种特殊型式的行星传动简介 .....        | 154 |
| § 7-6 减速器 .....                  | 157 |
| § 7-7 摩擦轮传动和机械无级变速传动 .....       | 160 |
| <b>第八章 螺旋传动</b> .....            | 165 |
| § 8-1 螺旋传动的类型和应用 .....           | 165 |
| § 8-2 滑动螺旋传动 .....               | 167 |
| § 8-3 滚珠螺旋传动简介 .....             | 171 |
| § 8-4 静压螺旋传动简介 .....             | 172 |
| <b>第九章 连杆传动</b> .....            | 174 |
| § 9-1 连杆传动的组成、应用及特点 .....        | 174 |
| § 9-2 铰链四杆机构的基本型式及其特性 .....      | 175 |
| § 9-3 铰链四杆机构的尺寸关系及其演化型式 .....    | 179 |
| § 9-4 平面四杆机构设计 .....             | 181 |
| § 9-5 连杆传动的结构与多杆机构简介 .....       | 187 |
| <b>第十章 凸轮传动</b> .....            | 189 |
| § 10-1 凸轮传动的组成、应用和类型 .....       | 189 |
| § 10-2 从动件的常用运动规律及其选择 .....      | 190 |
| § 10-3 用作图法设计凸轮轮廓曲线 .....        | 194 |
| § 10-4 用解析法设计凸轮轮廓曲线 .....        | 198 |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| § 10-5 凸轮机构基本尺寸的确定 .....            | 199        |
| § 10-6 凸轮传动的材料、结构和强度校核 .....        | 202        |
| <b>第十一章 棘轮传动、槽轮传动和不完全齿轮传动 .....</b> | <b>205</b> |
| § 11-1 棘轮传动 .....                   | 205        |
| § 11-2 槽轮传动 .....                   | 209        |
| § 11-3 不完全齿轮传动 .....                | 212        |
| <b>第十二章 轴 .....</b>                 | <b>214</b> |
| § 12-1 轴的功用和分类 .....                | 214        |
| § 12-2 轴的材料 .....                   | 215        |
| § 12-3 轴的结构设计 .....                 | 216        |
| § 12-4 轴的强度计算 .....                 | 219        |
| § 12-5 轴的刚度计算 .....                 | 224        |
| § 12-6 轴的振动及振动稳定性的概念 .....          | 226        |
| <b>第十三章 滑动轴承 .....</b>              | <b>227</b> |
| § 13-1 概述 .....                     | 227        |
| § 13-2 滑动轴承的结构型式 .....              | 228        |
| § 13-3 轴瓦(轴套)结构和轴承材料 .....          | 230        |
| § 13-4 润滑剂和润滑方法 .....               | 232        |
| § 13-5 混合摩擦润滑滑动轴承计算 .....           | 236        |
| § 13-6 液体动压润滑的形成及其基本方程 .....        | 237        |
| § 13-7 液体动压向心滑动轴承的计算 .....          | 240        |
| § 13-8 液体静压轴承和气体轴承简介 .....          | 245        |
| <b>第十四章 滚动轴承 .....</b>              | <b>248</b> |
| § 14-1 滚动轴承的构造、类型及代号 .....          | 248        |
| § 14-2 滚动轴承的失效形式和承载能力计算 .....       | 251        |
| § 14-3 滚动轴承的组合设计 .....              | 259        |
| § 14-4 滚动轴承和滑动轴承的比较及其选择 .....       | 263        |
| <b>第十五章 联轴器、离合器和制动器 .....</b>       | <b>265</b> |
| § 15-1 联轴器 .....                    | 265        |
| § 15-2 离合器 .....                    | 270        |
| § 15-3 制动器 .....                    | 274        |
| <b>第十六章 弹簧 .....</b>                | <b>276</b> |
| § 16-1 弹簧的功用、类型和特性 .....            | 276        |
| § 16-2 圆柱螺旋弹簧的制造、材料及许用应力 .....      | 278        |
| § 16-3 圆柱螺旋压缩弹簧和拉伸弹簧 .....          | 280        |
| § 16-4 圆柱螺旋扭转弹簧 .....               | 286        |
| <b>第十七章 机械速度波动的调节 .....</b>         | <b>287</b> |
| § 17-1 机械速度波动调节的目的和方法 .....         | 287        |
| § 17-2 飞轮设计的近似方法 .....              | 288        |
| <b>第十八章 回转件的平衡 .....</b>            | <b>292</b> |



§ 18-1 回转件平衡的意义 ..... 292

§ 18-2 回转件的静平衡 ..... 292

§ 18-3 回转件的动平衡 ..... 294

第十九章 机械设计综述 ..... 297

§ 19-1 机器工作部分的运动要求和阻力的确定 ..... 297

§ 19-2 原动机选择 ..... 300

§ 19-3 传动系统方案的拟定 ..... 303

§ 19-4 机件结构的合理设计 ..... 308

§ 19-5 机械设计示例 ..... 316

§ 19-6 机械现代设计与机电一体化简介 ..... 326

第二十章 液压传动与气压传动 ..... 329

§ 20-1 液压传动的基本知识 ..... 329

§ 20-2 油泵 ..... 334

§ 20-3 油缸和油马达 ..... 337

§ 20-4 液压阀 ..... 339

§ 20-5 液压辅助元件 ..... 347

§ 20-6 液压系统图实例及液压系统设计简介 ..... 349

§ 20-7 气压传动简介 ..... 352

思考题与习题 ..... 353

主要参考书目 ..... 373

# 第一章 总论

## § 1-1 机械的组成

机械是机器和机构的总称。

在工农业生产、交通运输、国防、科研以及人们的日常生活中应用着各式各样的机器。机器的种类很多,但就其用途而言,不外乎两类:一类是提供或转换机械能的机器,如电动机、内燃机等动力机器;另一类则是利用机械能来实现预期工作的机器,如起重运输机、机床、插秧机、纺织机等各种工作机器。这许许多多工作机器,它们的形式、构造都不相同,各具自身的特点;但一切工作机器的组成通常都有其共同之处。下面举两个简单机械为例,阐述机器的基本组成。

图 1-1a、b 为一矿石球磨机的外形图和机动示意图。电动机的转速通过一级圆柱齿轮减速器和一对开式齿轮传动减速,驱动由一对滑动轴承支承的球磨滚筒旋转,矿石在筒体内被一定

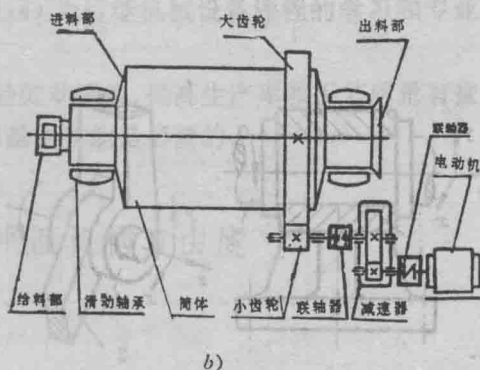
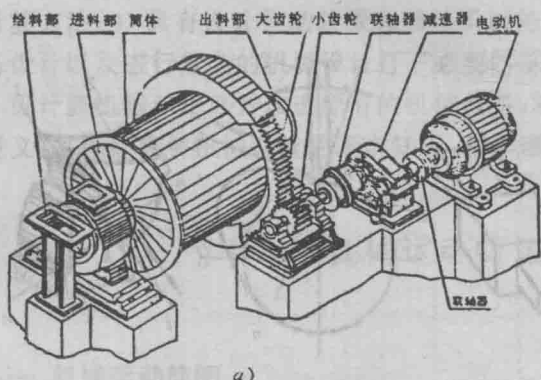


图 1-1

数量的钢(铁)球粉碎。图 1-2a、b 为一加热炉运送机的前视图和机动示意图。电动机 1 高速回转,其轴用联轴器 2 和蜗轮减速器的蜗杆 3 相联,经由蜗杆 3 和蜗轮 4 减速后再经开式齿轮 5 和 6 减速,使大齿轮轴以较低的转速回转。通过销接在大齿轮 6 和摇杆 8 上的连杆 7,使摇杆 8 绕轴 D 作往复摆动。再通过销接在摇杆 8 和推块 10 上的连杆 9,使推块 10 在机架 11 的滚道上往复移动,向右时输送工件,速度较慢,力量较大,运动平稳;而在向左作空载返回时,则速度较快,节省时间。通过以上两例,可以归纳成以下几点认识:

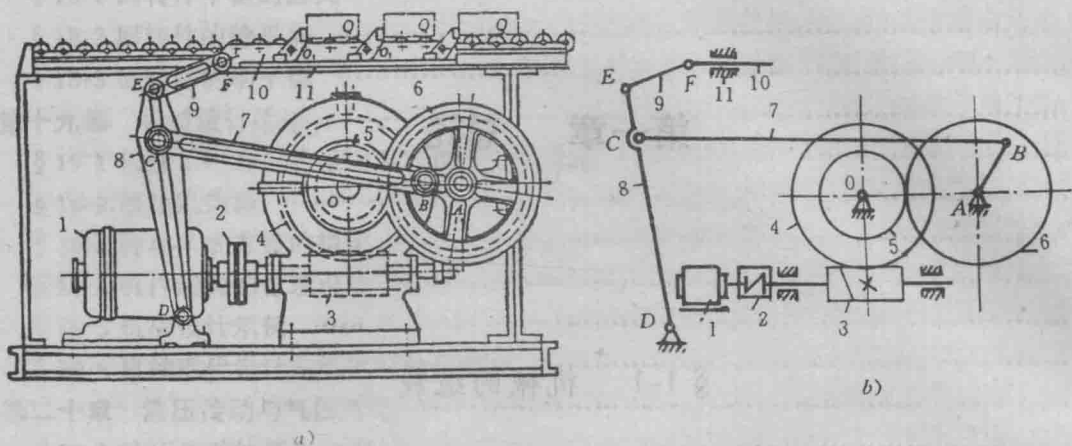


图 1-2

1. 在上述两例机器中,前者的球磨滚筒以其所需速度在滑动轴承座上旋转使矿石被粉碎;后者的推块以一定的规律在机架滚道上往复移动运送物料,都是机器直接从事生产工作的部分,称为工作部分。电动机是机器工作的运动和动力来源,称为原动机。而齿轮传动、蜗杆传动、连杆传动等是将原动机的运动和动力传递到工作部分的中间环节,称为传动装置。由于原动机大多是交流电动机,它提供的定速回转运动通常均不能符合各种工作部分不同的运动要求,因而常不直接从原动机把运动和动力传给工作部分,而是需要通过不同的传动装置转换后才符合工作部分的运动要求。传动装置在机器中的作用是:1) 改变速度(可以是减速、增速或调速);2) 改变运动形式;3) 在传递运动的同时传递动力。一台完整的工作机器通常都包含工作部分、原动机和传动装置三个基本职能部分。

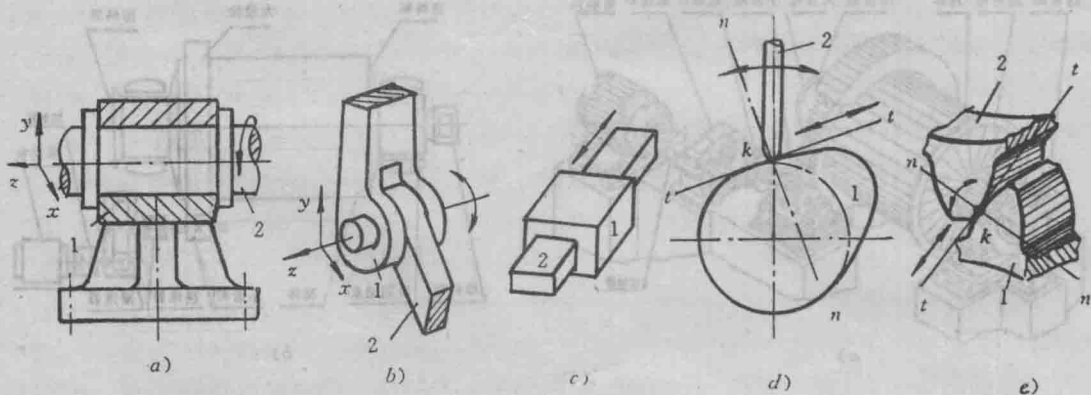


图 1-3

2. 任何机器都是由许多零件组合而成的。根据机器功能、结构要求,某些零件需固联成没有相对运动的刚性组合,成为机器中运动的单元体,称为构件(如图 1-1 中滚筒与开式大齿轮固联成一个构件,减速器中的大齿轮与开式小齿轮分别用键和各自的轴再通过固定式联轴器联成一个构件)。构件与零件的区别在于:构件是运动的基本单元,而零件是制造的基本单元;有时一个单独的零件也是一个最简单的构件。构件与构件之间通过一定的相互接触与制约,构

成保持确定相对运动的“可动联接”，这种可动联接称为“运动副”。常见的运动副有回转副(图 1-3a、b, 两构件面接触且只能作相对转动, 如轴与轴承, 铰链)、移动副(图 1-3c, 两构件面接触且只能作相对移动, 如滑块与导轨)和滚滑副(图 1-3d、e, 两构件点或线接触, 有沿接触处公切线  $t-t$  的相对滑动和绕接触处的相对滚动, 如凸轮与从动件, 一对轮齿)等类型。一切机器都是由若干构件以运动副相联接并具有确定相对运动, 用来完成有用的机械功或转换机械能的组合体。

需要指出, 机构也是由若干构件以运动副相联接并具有确定相对运动的组合体; 但机器用来完成有用的机械功或转换机械能, 而机构在习惯上主要是指传递运动的机械(如仪表等)以及从运动的观点加以研究而言的。机器中必包含一个或一个以上的机构。

3. 机器的工作部分随各机器的不同用途而异, 但在不同的机器组成中常包含有齿轮、蜗杆、带、链、连杆、凸轮、螺旋、棘轮等传动机构以及螺钉、键、销、弹簧、轴、轴承、联接器等零部件, 它们在各自不同的机器中所起的作用和工作原理却是基本相同。对这些在各种机器中常见的机构和零部件, 一般称为常用机构和通用零部件。常用机构和通用零部件在某种意义上可以说是各种机器共同的、重要的组成基础。

## § 1-2 本课程研究的内容和目的

研究机械可以从许多方面进行, 《机械设计基础》课程研讨的主要内容是: 机械组成的一些基本原理和规律; 组成机械的一些常用机构、机械传动、通用零部件的工作原理、特点应用、结构和基本的设计计算方法; 机械设计的一般原则和步骤等共同性问题。它是工科院校中一门重要的技术基础课。通过本课程的学习和课程设计实践, 达到: 1) 了解使用、维护和管理机械设备的一些基础知识; 2) 掌握机械中常用的机构、通用零部件的工作原理、特点、应用及其设计计算方法; 3) 具有设计传动装置和简单机械的能力; 4) 为后继机械设备课程的学习和专业设备设计以及进行复杂的机械设计打下必要的基础。

设计新机器和用好并改进原有的机械设备, 对减轻劳动强度、提高生产率和工艺质量有重要意义。掌握好有关机械设计的基本知识、基本理论和基本技能是必要的。

## § 1-3 机械运动简图及平面机构自由度

### 一、机械运动简图

设计新机械或分析、研究与革新现有机械, 常需把复杂的机械用一些简单的线条和规定的符号将其传动系统、传动机构间的相互联系、运动特性表示出来, 表示这些内容的图称为机械运动简图或机动画示意图(如图 1-1b、图 1-2b)。从运动简图中可以清晰地看出原动机的运动和动力通过哪些机构、采用何种方式, 使机器工作部分实现怎样的运动; 根据运动简图再配上某些参数便可进行机器传动方案比较、运动分析和受力分析, 并为主要传动件工作能力计算、机件(构件和零件之统称)结构具体化和绘制装配图提供条件。

机械的运动特性与构件的数目、运动副的类型和数目, 以及运动副之间的相对位置(如回

表 1-1 运动简图中的常用符号

|        |  |         |  |
|--------|--|---------|--|
| 活构件    |  | 圆柱齿轮    |  |
| 固构件    |  | 锥齿轮     |  |
| 回转副    |  | 齿轮传动    |  |
| 移动副    |  | 蜗轮与圆柱蜗杆 |  |
| 球面副    |  | 向心轴承    |  |
| 螺旋副    |  | 推力轴承    |  |
| 零件与联接  |  | 向心推力轴承  |  |
| 凸轮与从动件 |  | 弹性联轴器   |  |
| 槽轮传动   |  | 离合器     |  |
| 棘轮传动   |  | 制动器     |  |
| 带传动    |  | 原动机     |  |
| 链传动    |  |         |  |



转副中心、移动副中心线等)有关。机构、构件和运动副是组成机器并直接影响机器运动特性的要素。这些要素必须在运动简图中确切而清楚地表示出来,而那些与运动特性无关的因素(如组成构件的零件数目、实际截面尺寸、运动副的具体构造)则应略去,无需在运动简图中表达。绘制运动简图实际就是用一些运动副、构件以及常用机构简单的代表符号(参见表 1-1)按传动系统的布局顺序绘制出来,这样便能清晰地反映与原机械相同的运动特性和传递关系。

根据实际机械绘制其运动简图时,首先应进行仔细观察和分析,分清各种机构,判别固定构件(通常是机架)与运动构件(运动构件中由外力直接驱动、其运动规律由外界确定的构件称为主动构件,其余的运动构件称为从动构件),数出运动构件的数目,并根据构件间相对运动性质确定其运动副的类型。其次,测量各个构件上与运动有关的尺寸——运动尺寸(如确定运动副相对位置和滚滑副接触面形状的尺寸)。然后根据这些运动尺寸选择适当的长度比例尺( $\mu_l = \text{实际长度} / \text{图示长度}$ ,单位为  $\text{m/mm}$  或  $\text{mm/mm}$ )和视图平面(通常为构件的运动平面),用规定的或惯用的机构、构件和运动副的代表符号绘制简图。一般先画固定构件及其上的运动副,接着画出与固定构件相联的主动构件(位置可任意选定),以后再按运动和力的传递关系顺序画出所有从动构件及相联的运动副以完成机械运动简图;最后,还应仔细检查运动构件的数目、运动副的类型和数目及其相对位置与联接关系等有无错误,否则将不能正确反映实际机械的真实运动。

以一定的比例尺绘制运动简图,便于用图解法在图上对机构进行运动和力的分析。工程上还广泛应用不按严格的比例绘制的运动简图,通常称为机动示意图。在机动示意图上只是定性地表达出机械中各构件之间的运动和力的传递关系,但绘制却较方便。

下面通过几个例子,对绘制运动简图再作些具体说明。

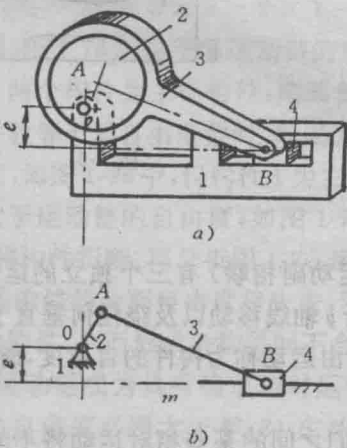


图 1-4

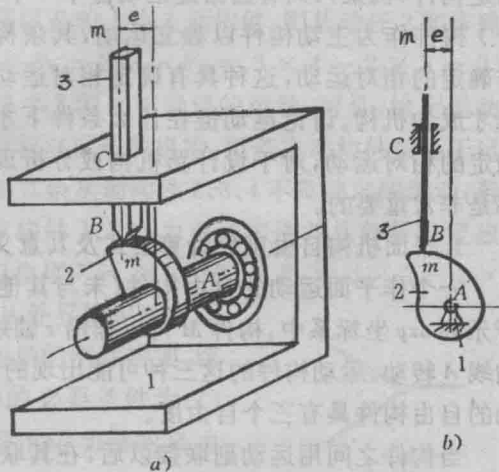


图 1-5

例 1-1 图 1-4a 为一偏心轮滑块机构,图 1-5b 为其运动简图,作图步骤如下:

1. 认清机架及运动构件数目并标上编号;确定主动构件。

1——机架;2——偏心轮;3——连杆;4——滑块;确定偏心轮 2 为主动构件。

2. 根据相联两构件相对运动的性质,确定运动副的类型。

图 1-4 中,1-2 属回转副,2-3 联接部分的实际结构是连杆 3 一端圆环的内圆柱面套在偏心轮 2 的外圆柱面上,连杆 3 对偏心轮 2 之间的相对运动为绕圆心 A 的转动,所以也是回转副(运动副的实际构造可有各式各样,

应抓住两构件可能的相对运动性质来正确判断运动副的类别);同理,3-4也属回转副;而4-1则为移动副。

3. 确定回转副的转动中心所在位置和移动副中心线方位,选构件的运动平面用代表符号和线条按比例画出运动简图。

1-2 回转副中心在  $O$  点;2-3 回转副中心在  $A$  点;3-4 回转副中心在  $B$  点;4-1 移动副中心线  $m-m$  方向水平,该中心线偏离固定中心  $O$  的距离为  $e$ 。画图时先画机架1及其上的回转副中心  $O$  (固定点),按偏距  $e$  作水平线即为机架1上移动副中心线  $m-m$  (固定线),按主动构件2两回转副中心  $O$ 、 $A$  距离及其某一瞬时位置定出  $A$  点,联  $O$ 、 $A$  得构件2;以  $A$  为圆心,构件3两回转副中心  $A$ 、 $B$  距离为半径作弧与  $m-m$  之交点即为  $B$  点,联  $A$ 、 $B$  得构件3;最后以代表符号画出构件4及与机架1的移动副,即得所示运动简图。

例 1-2 图 1-5a 为一凸轮机构,主动构件凸轮2与机架1组成回转副  $A$ ,从动杆3分别与凸轮2、机架1组成滚滑副  $B$ 、移动副  $C$ 。对照例 1-1 作图步骤绘制出图 1-5b 所示运动简图。需要指出,对滚滑副应按比例作出组成滚滑副的接触部分形状,画机动示意图时,只要大致画出廓线形状就可以了。

例 1-3 图 1-2a 所示加热炉运送机,电动机到工作部分整个传动系统采用的机构及其运动传递情况,在 § 1-1 中已予阐述,其机架、各运动构件以及运动副的数目、类型、位置都不难分析,对照上述步骤,可作出如图 1-2b 所示之运动简图(机动示意图)。需要指出的是,蜗杆和蜗轮以及一对齿轮的轮齿都是构成滚滑副,但它们都已有惯用的代表符号(表 1-1),绘制运动简图时无需表示出其齿廓形状。

## 二、平面机构的自由度

所有运动构件都在同一平面或相互平行的平面内运动,这种机构称为平面机构,否则称为空间机构。目前工程中常见的机构大多为平面机构。

如前所述,机构是由若干构件用运动副相联接并具有确定相对运动的组合体;我们把若干构件用运动副联成的系统称为运动链,其中有一个构件为固定构件(机架),只有当给定运动链中一个(或若干个)构件作为主动构件以独立运动,其余构件随之作确定的相对运动,这种具有确定相对运动的运动链才成为机构。讨论运动链在什么条件下才能具有确定的相对运动,对于设计新机构或分析现有机构都是非常重要的。

### 1. 平面机构自由度的计算公式及其意义

一个作平面运动的自由构件(未与其他构件用运动副相联)有三个独立的运动,如图 1-6 所示在  $oxy$  坐标系中,构件  $M$  可以作沿  $x$  轴线移动、沿  $y$  轴线移动以及绕任何垂直于  $xoy$  平面的轴线  $A$  转动。运动构件的这三种可能出现的独立的自由运动称为构件的自由度,所以作平面运动的自由构件具有三个自由度。

当构件之间用运动副联接以后,在其联接处,它们之间的某些相对运动将不能实现,这种对于相对运动的限制称为运动副的约束,自由度将随引入约束而相应地减少。不同类型的运动副,引入的约束不同,保留的自由度也不同;如图 1-3a、b 所示回转副约束了运动构件沿  $x$ 、 $y$  轴线移动的两个自由度,只保留绕  $z$  轴转动的一个自由度;图 1-3c 所示移动副约束了构件沿一轴线  $x$  (或  $y$ ) 移动和在  $xoy$  平面内转动的两个自由度,只保留了沿另一轴线  $y$  (或  $x$ ) 移动的一个自由度;图 1-3d、e 所示滚滑副只约束了沿接触处公法线  $n-n$  方向移动的一个自由度,保留绕接触处转动和沿接触处公切线  $t-t$  方向移动的两个自由度。所以,在平面运动链中,每个低副(两个构件之间以面接触组成的回转副和移动副)引入两个约束,使构件丧失两个自由度;每

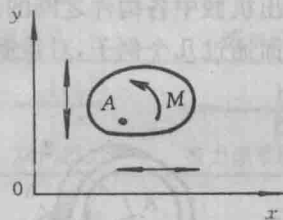


图 1-6

个高副(两构件之间以点或线接触组成的滚滑副)引入一个约束,使构件丧失一个自由度。

如果一个平面运动链中包括固定构件在内共有  $N$  个构件,则除去固定构件后,运动链中的运动构件数应为  $n = N - 1$ 。在未用运动副联接之前,这  $n$  个运动构件相对机架的自由度总数应为  $3n$ ,当用运动副将构件联接起来后,由于引入了约束,运动链中各构件具有的自由度就减少了。若运动链中低副数目为  $P_L$  个,高副数目为  $P_H$  个,则运动链中全部运动副所引入的约束总数为  $2P_L + P_H$ 。将运动构件的自由度总数减去运动副引入的约束总数,即为运动链相对机架所具有的独立运动的个数,称为运动链相对机架的自由度(简称运动链自由度),以  $F$  表示,即

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (1-1)$$

这就是平面运动链自由度的计算公式。我们通过以下各例进一步分析平面运动链在什么条件下才能成为具有确定性相对运动的平面机构。

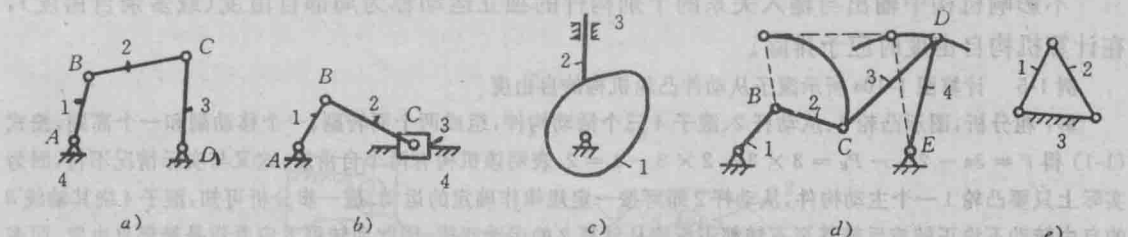


图 1-7

图 1-7a、b 所示平面运动链的自由度  $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$ ,若以构件 1 为主动构件,则其余运动构件将随之作确定的运动。图 1-7c 所示平面运动链的自由度  $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$ ,若以凸轮 1 为主动构件,则从动杆 2 亦作确定的往复移动。图 1-7d 所示平面运动链的自由度  $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$ ,若以 1、4 两个构件为主动构件,则其他从动构件 2、3 随之作确定的运动。可见,给定运动链的主动构件数等于其自由度数时,即成为具有确定相对运动的机构。但若主动构件数小于运动链的自由度,如图 1-7d 中,仅构件 1 为主动构件,则其余从动构件 2、3、4 不具确定的运动;若主动构件数大于运动链的自由度,如图 1-7a、b 中,使构件 1、3 都为主动构件并从外界给定独立运动,势必将构件折断。再分析图 1-7e,运动链的自由度  $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 3 - 0 = 0$ ,各构件的全部自由度将失去,不能再有从外界给定独立运动的主动构件,从而形成各构件间不会有相对运动的刚性构架。综上所述,运动链成为具有确定相对运动的机构的必要条件为:1) 运动链的自由度必须大于零;2) 主动构件数等于运动链的自由度。

通常把整个运动链相对机架的自由度称为机构的自由度,所以式(1-1)也称为平面机构自由度的计算公式。

## 2. 计算平面机构自由度时应注意的问题

### 1) 复合铰链

三个或三个以上构件在同一轴线上用回转副相联接构成复合

铰链,如图 1-8 所示为三个构件在同一轴线上构成两个回转副的复合铰链。可以类推,若有  $m$

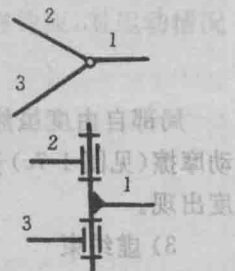


图 1-8

个构件构成同轴复合铰链,则应具有  $m - 1$  个回转副。在计算机构自由度时应注意识别复合铰链,以免漏算运动副的数目。

例 1-4 计算图 1-9 所示摇筛机构自由度

解:粗看似似乎是 5 个运动构件和  $A、B、C、D、E、F$  等铰链组成六个回转副,由式(1-1)得  $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 0 = 3$ ,如果真如此,则必须有三个主动构件才能使机构有确定的运动,但这与实际情况显然不符,事实上,整个机构只要一个构件即构件 1 作为主动构件即能使运动完全确定下来,这种计算错误是因为忽略了构件 2、3、4 在铰链  $C$  处构成复合铰链,组成两个同轴回转副而不是一个回转副之故,故总的回转副数  $P_L = 7$ ,而不是  $P_L = 6$ ,据此按式(1-1)计算得  $F = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$ ,这便与实际情况相符了。

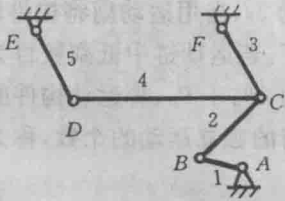


图 1-9

### 2) 局部自由度

不影响机构中输出与输入关系的个别构件的独立运动称为局部自由度(或多余自由度),在计算机构自由度时应予排除。

例 1-5 计算图 1-10a 所示滚子从动件凸轮机构的自由度

解:粗分析,图示凸轮 1、从动杆 2、滚子 4 三个活动构件,组成两个回转副、一个移动副和一个高副,按式(1-1)得  $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$ ,表明该机构有两个自由度,这又与实际情况不符,因为实际上只要凸轮 1 一个主动构件,从动杆 2 即可按一定规律作确定的运动。进一步分析可知,滚子 4 绕其轴线  $B$  的自由转动不论正转或反转甚至不转都不影响从动杆 2 的运动规律,因此回转副  $B$  应看作是局部自由度,即多余自由度,在正确计算自由度时应予除去不计。这时可如图 1-10b 所示,将滚子与从动杆固联作为一个构件看待,即按  $n = 2, P_L = 2, P_H = 1$  来考虑,则由式(1-1)得  $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$ ,这便与实际情况相符了。

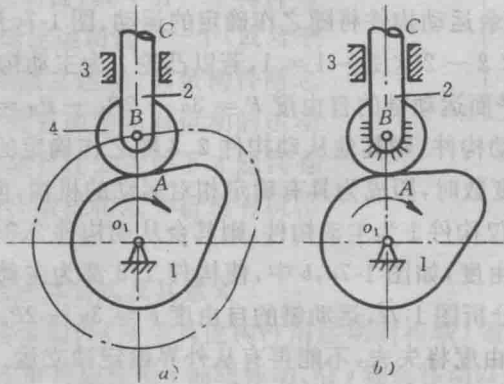


图 1-10

局部自由度虽然不影响机构输入与输出运动关系,但上例中的滚子可使高副接触处的滑动摩擦(见图 1-7c)变成滚动摩擦,从而提高效率、减少磨损。在实际机械中常有这类局部自由度出现。

### 3) 虚约束

在运动副引入的约束中,有些约束对机构自由度的影响与其他约束重复,这些重复的约束称为虚约束(或消极约束),在计算机构自由度时也应除去不计。

例 1-6 图 1-11a 所示机构,各构件的长度为  $l_{AB} = l_{CD} = l_{EF} = l_{BC} = l_{AD} = l_{CF}$ ,试计算其自由度。

解:粗分析,  $n = 4, P_L = 6, P_H = 0$ ,由式(1-1)得  $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0$ ,显然这又与实际情况不符。若将构件  $EF$  除去,回转副  $E、F$  也就不复存在,则成为图 1-11b 所示的平行四边形机构;此时,