



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高职高专规划教材

# 机械设计基础

J I X I E S H E J I J I C H U

庞兴华 主编



教师免费下载  
[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

配电子课件

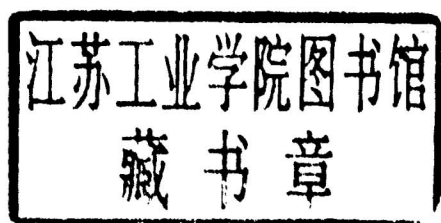
 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高职高专规划教材

# 机械设计基础

主 编 庞兴华  
副主编 王林鸿  
参 编 梁秀山 段江军 王 平 田光辉  
林红旗 王艳红 赵 华 刘宏伟



机械工业出版社

本书内容涵盖“理论力学”、“材料力学”、“机械原理”、“机械零件”四门课程,是机制专业及相关专业的专业技术基础。

本书以学以致用、“必需”、“够用”为度的原则来组织编写,力求突出实用性、实践性,尽量体现高职高专层次的特点。采用了最新计算方法和国家标准。

全书共17章,主要内容为:力学基础、机构设计、机械零部件设计、现代设计等。

本书可作为高等职业院校,高等专科学校,普通本科的机械类、近机类专业的教材,也可供有关专业工程技术人员参考。

本教材配有电子教案,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 注册后下载。咨询邮箱: [cmpgaozhi@sina.com](mailto:cmpgaozhi@sina.com)。咨询电话:010-88379375。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/庞兴华主编. —北京:机械工业出版社,2008.7  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专规划教材  
ISBN 978-7-111-24818-7

I. 机… II. 庞… III. 机械设计-高等学校:技术学校-教材  
IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第121585号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
策划编辑:王海峰 责任编辑:葛晓慧 版式设计:霍永明  
责任校对:陈延翔 封面设计:陈沛 责任印制:邓博  
北京四季青印刷厂印刷(三河市杨庄镇环伟装订厂装订)  
2009年1月第1版第1次印刷  
184mm×260mm·21印张·518千字  
0001—4000册  
标准书号:ISBN 978-7-111-24818-7  
定价:33.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
销售服务热线电话:(010) 68326294  
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643  
编辑热线电话:(010) 88379756  
封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本教材为机制及近机制类专业高职高专教材，是机制专业及相关专业实行教学改革后的教学计划的配套教材，与该专业的培养方向及培养目标相适应。内容涵盖“理论力学”、“材料力学”、“机械原理”、“机械零件”四门课程，是机制专业及相关专业的专业技术基础主干课之一。总授课学时约为120学时。

本教材由南阳理工学院教师组编。其中庞兴华编写绪论、第六、七、十七章，段江军编写第二章（1~5节），王平编写第三章，田光辉编写第一、四、五章，林红旗编写第八、九章，梁秀山、刘宏伟编写第十章及第二章（6、7节），王艳红编写第十一、十二章及第二章习题，王林鸿编写第十四、十五、十六章，赵华编写第十三章。庞兴华、王林鸿分别为主编、副主编，负责统稿、组编、整理工作。

本教材在编写过程中得到我校校领导和教务处的大力支持，得到校内外专家、同行及同学们的热情关心和大力帮助，在此致以真诚的谢意。

本教材在编写过程中，编者各自尽了最大的努力，但由于水平有限，问题和差错依然存在，恳请读者予以谅解，也恳请读者、专家批评指正。

编 者

# 目 录

前言	
绪论	1
第一节 引言	1
第二节 本课程研究的对象和内容	1
第三节 本课程在教学中的地位、作用和任务	3
第四节 机械设计的主要任务、内容和一般程序	3
第五节 机械零件设计的一般步骤和方法	4
思考题	5
第一章 机械的组成及机构运动简图	6
第一节 机械的组成	6
第二节 零件、部件、机构	7
第三节 机构运动简图	9
第四节 平面机构的自由度	11
思考题	17
习题	17
第二章 静力学基础	19
第一节 静力学基本概念与受力图	19
第二节 平面汇交力系	25
第三节 力矩、力偶	31
第四节 平面任意力系	35
第五节 空间力系概述	41
第六节 摩擦	47
第七节 刚体的定轴转动	50
思考题	56
习题	57
第三章 材料力学基础	64
第一节 概述	64
第二节 轴向拉伸和轴向压缩	64
第三节 剪切与挤压	73
第四节 扭转	77
第五节 弯曲	85
第六节 组合变形	99
思考题	104
习题	104
第四章 平面连杆机构	109
第一节 平面连杆机构的基本形式和性质	109
第二节 四杆机构的演化及常见的应用类型	115
第三节 平面四杆机构的设计	117
第四节 用解析法设计平面四杆机构简介	119
第五节 多杆机构简介	121
思考题	122
习题	123
第五章 凸轮及间歇运动机构	125
第一节 凸轮机构	125
第二节 间歇运动机构	134
思考题	135
习题	135
第六章 联接	138
第一节 螺纹联接的基本知识	138
第二节 螺纹副的受力分析、效率和自锁	141
第三节 螺纹的类型与应用	144
第四节 螺纹联接件联接	145
第五节 螺纹联接的设计计算	148
第六节 螺纹联接件的材料和许用应力	151
第七节 键销联接	153
思考题	157
习题	157
第七章 螺旋传动	159
第一节 螺旋传动的类型和特点	159
第二节 滑动螺旋传动的设计计算	159
第三节 滚动螺旋传动简介	165
思考题	168
习题	168
第八章 带传动	169
第一节 概述	169
第二节 带传动的工作情况分析	171
第三节 普通V带传动的设计计算	175
第四节 带轮的结构设计	180

第五节 V带传动的使用和维护 .....	182	<b>第十二章 轮系及减速器</b> .....	249
思考题 .....	184	第一节 轮系 .....	249
习题 .....	184	第二节 普通减速器 .....	256
<b>第九章 链传动</b> .....	186	思考题 .....	259
第一节 概述 .....	186	习题 .....	260
第二节 链传动的运动分析 .....	188	<b>第十三章 轴承</b> .....	261
第三节 套筒滚子链传动的设计计算 .....	189	第一节 滑动轴承概述 .....	261
第四节 链轮的结构 .....	193	第二节 滑动轴承的结构和材料 .....	262
第五节 链传动的使用和维护 .....	195	第三节 非液体摩擦滑动轴承的计算 .....	265
思考题 .....	197	第四节 滑动轴承的润滑及液体滑动轴承 简介 .....	266
习题 .....	197	第五节 滚动轴承的结构、类型和特点 .....	269
<b>第十章 齿轮传动</b> .....	198	第六节 滚动轴承的代号及类型选择 .....	272
第一节 概述 .....	198	第七节 滚动轴承的寿命计算 .....	274
第二节 齿廓啮合基本定律 .....	199	第八节 滚动轴承的组合设计 .....	283
第三节 渐开线齿廓的形成及特点 .....	200	思考题 .....	288
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分的 名称及基本参数 .....	203	习题 .....	288
第五节 渐开线齿轮的正确啮合条件和 重合度 .....	206	<b>第十四章 联轴器及离合器</b> .....	289
第六节 公法线长度 .....	207	第一节 联轴器 .....	289
第七节 渐开线齿廓切削加工简介 .....	209	第二节 离合器 .....	293
第八节 根切、最小齿数及变位齿轮概念 ..	210	思考题 .....	295
第九节 齿轮传动的失效形式与设计 准则 .....	212	习题 .....	296
第十节 标准直齿圆柱齿轮的强度计算 .....	213	<b>第十五章 轴</b> .....	297
第十一节 齿轮的材料和许用应力 .....	219	第一节 概述 .....	297
第十二节 斜齿圆柱齿轮传动 .....	226	第二节 轴的设计 .....	298
第十三节 锥齿轮传动 .....	230	第三节 轴的设计举例 .....	302
第十四节 齿轮的结构设计简介 .....	234	思考题 .....	305
思考题 .....	235	习题 .....	306
习题 .....	237	<b>第十六章 弹簧</b> .....	307
<b>第十一章 蜗杆传动</b> .....	239	第一节 弹簧的功用和类型 .....	307
第一节 概述 .....	239	第二节 圆柱螺旋弹簧的材料和制造 .....	308
第二节 蜗杆传动的的基本参数与尺寸 计算 .....	240	第三节 圆柱螺旋压缩弹簧的设计计算 .....	309
第三节 蜗杆传动的运动分析和受力 分析 .....	243	思考题 .....	315
第四节 蜗杆传动的设计计算 .....	244	习题 .....	315
第五节 蜗杆传动的效率及热平衡计算 .....	245	<b>第十七章 现代机械设计方法简介</b> .....	316
第六节 蜗杆、蜗轮的结构 .....	247	第一节 计算机在机械设计中的应用 .....	316
思考题 .....	248	第二节 机械优化设计 .....	319
习题 .....	248	第三节 机械强度的可靠性设计 .....	321
		思考题 .....	325
		习题 .....	325
		<b>附录</b> .....	326
		<b>参考文献</b> .....	329

# 绪 论

本章介绍了机器、机构、构件及零件的概念和本课程的内容、性质和任务；简述了机械设计应满足的基本要求及一般程序；重点阐述机械零件的工作能力准则。

## 第一节 引 言

机械工业担负着向国民经济各部门（包括工业、农业和社会生活各个方面）提供各种性能先进、价格低廉、使用方便、安全可靠的技术装备的任务。它在现代化建设中起着举足轻重的作用。通常把使用机器进行生产的水平作为衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。人类为了减轻体力劳动、提高生产率而创造发明了各种各样的机器，随着生产的发展，对机械的研究也不断深入，有关机械方面的知识也日趋完善，到 19 世纪中期逐渐形成了系统的研究机械设计的学科。由于科学理论的提高，相应地又促进了生产的发展，加之材料科学、力学、制图、机械制造工艺学等学科的研究进一步深入，逐渐形成了一整套机械设计的理论和方法。近几十年来，由于电子计算机的发展与广泛应用，在机械设计中引入了有限元法、优化设计和计算机辅助设计等先进方法，使机械设计方法更加科学化、系统化和现代化。

机械设计是机械产品制造的第一道工序。设计工作质量的好坏直接关系到产品的质量、性能、研制周期和经济效益。有关统计资料表明，在产品生产的整个阶段中，设计本身所占的经济成本并不高，大约为 15% 左右，而对整个产品质量、性能的影响作用却占到 75% 以上。工业发达国家都十分重视产品设计，因为市场竞争的生命力在于产品的水平，而有竞争能力的产品，设计的好坏极为关键。所以机械设计这门学科在我国现代化建设中也起着重要的作用。

## 第二节 本课程研究的对象和内容

在人们的生产和生活中，经常遇到如汽车、机床、电动机、洗衣机等机械设备。这些机械的功能各不相同，结构性能各异。

图 0-1 所示为一单缸四冲程发动机。燃气在气缸体 1 内燃烧膨胀做功，驱动活塞 2 往下移动，经连杆 3 带动曲轴 4 转动。曲轴经过一对齿轮 5 和 6，带动凸轮 7 和挺杆 8，以控制进排气阀相对活塞的移动作定时启闭，一边将燃气吸入气缸，一边排出燃烧后的废气，气缸体 1 起支撑作用。以上各种动作协调配合，将燃气燃烧时的热能，转变为曲轴转动的机械能。又如发电机，它由定子（电枢）和转子组成，当外力矩驱动转子转动时，定子中便产生感应电动势，从而将机械能转换为电能。

综上所述，一般机械都具有以下三个明显的特征：

- 1) 它们都是人为的实物组合。

2) 组成机器的实物之间, 具有确定的相对运动。

3) 能代替或减轻人的劳动, 完成有用的机械功或转换机械能。

将其他形式的能量转换为机械能的机器称为原动机, 如电动机、发动机等。利用机械能完成有用功, 或将机械能转换成其他形式能量的机器称为工作机, 如金属切削机、球磨机、起重机、发电机、空气压缩机、计算机、打印机等。

机器由若干个机构组成。如发动机, 它是由曲柄滑块机构、凸轮机构、齿轮机构等机构所组成。机构与机器的区别, 仅在于机构只具备机械的前两个特征, 而不具备第三个特征。我们把能完成机械能转换的机构, 称之为机器。

不考虑机械能转换, 仅从运动和结构来看, 机器与机构并无区别, 故通常将机构和机器统称为机械。

组成机构的具有确定的运动的部件(或组件)称为构件。构件是机构的最小运动单元, 如内燃机的曲柄滑块机构中的连杆、曲轴等。

构件可以是单一的整体, 如图 0-2 中的曲轴, 只有一个元件; 也可以是几个元件组成的一个运动整体, 如图中的连杆, 它是由连杆体 1、螺栓 2、螺母 3 及连杆轴瓦盖 4、轴瓦 5 等元件组成。组成构件的不能再分的元件叫零件, 由此可知, 零件是制造过程中不能再分割的单元体, 是制造的基本单元, 图 0-2 中的 1、2、3、4、5、6 均可称为零件。

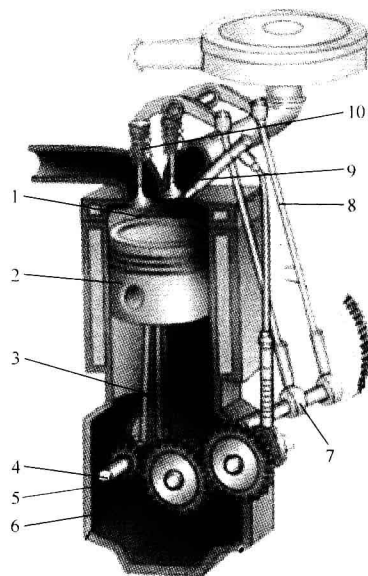


图 0-1

1—气缸体 2—活塞 3—连杆 4—曲轴 5、6—齿轮 7—凸轮 8—挺杆 9—进气门 10—排气门

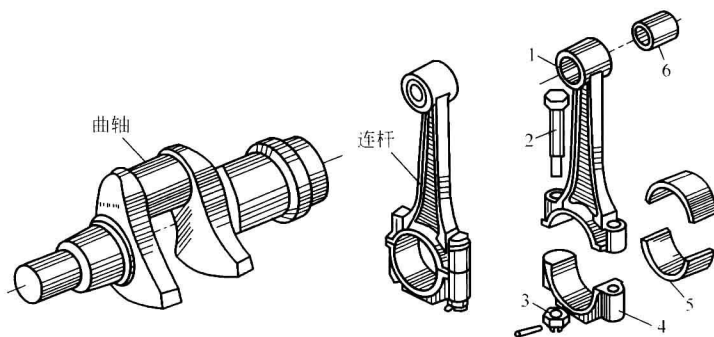


图 0-2

1—连杆体 2—螺栓 3—螺母 4—连杆轴瓦盖 5—轴瓦 6—活塞销

机器中普遍使用的机构称为常用机构, 如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等。

机器中普遍使用的零件称为通用零件, 如齿轮、轴承、螺钉等。只限于某些机械使用的零件称为专用零件, 如发动机中的活塞、活塞环等。

本课程主要研究机械中常用的机构和通用零件的工作原理、机构特点、设计方法及有关的基本理论。



### 第三节 本课程在教学中的地位、作用和任务

“机械设计”是机械类和近机类专业的一门主干技术基础课，它为学生学习专业课程提供必要的理论基础，是机械制造有关课程的先导课。本课程综合运用多种有关的基础理论与生产实践知识解决机械设计中的问题。因此，“机械制图”、“金属工艺学”、“机械工程材料”、“高等数学”、“公差配合”等又是本课程的先修课程。

通过对本课程的学习，使学生逐步掌握机构和机械零件的设计方法以及有关机械设计的一些基本理论与注意事项，了解机械设计的一般过程，具备简单机械的整体设计能力。同时还将使学生应用本课程的基本理论知识，对现有机械设备进行结构、性能等方面的分析，以便更好地应用、维修或改进现有设备，不断挖掘机械设备的潜力，提高机械的运行效率。

### 第四节 机械设计的主要任务、内容和一般程序

按预定目标和所需功能设计新机械，或对现有机械加以改进，以提高其应用效率，这便是机械设计的主要任务。

所设计的机械，在实现预定功能的前提下，应具有性能好、操作维修方便、安全可靠、外形美观、成本低等特点。

机械设计通常按以下程序进行。

#### 1. 调查研究

分析设计任务书，明确设计要求，了解现有同类型机器的生产使用情况、优缺点及存在的问题，采用先进技术的可能性、材料及标准件的供应情况以及本产品的市场竞争和供销情况等。

#### 2. 拟定总体方案

根据实际任务及调查研究的具体情况，进行分析后拟定出机械设计的总体方案，确定机械的工作原理，绘制机构运动简图等。

#### 3. 技术设计

对机构进行运动和动力分析和强度计算，确定零件的主要参数和尺寸，并考虑结构工艺性，绘制装配图、零件工作图，编写各种技术文件和说明书。

#### 4. 试制、鉴定与投产

新设计的产品在投产前需经过试制和鉴定，进行必要的修改和小批量试生产，经过进一步改进设计后，才能定型，进行大批量生产。当然，产品能否满足实际要求，还要经过长期实践中的不断验证和修改，所以说机械设计过程是一个不断回溯的复杂过程。设计者只有具备有关机械设计的坚实理论基础和丰富的实践经验，才能设计出较为合理的机械。

另外，当需要设计一台新机器时，设计人员必须进行周密的社会市场调查，所设计的机器应具有广阔的销售市场，在可靠性、使用性、成本等方面，必须具有很好的竞争能力，必须争取获得较好的经济效益。

## 第五节 机械零件设计的一般步骤和方法

机械设计的基础和关键之一是机械零件的设计问题。机械零件设计一般按以下步骤进行：

- 1) 零件在机器中的地位和作用，选择零件的种类和结构。
- 2) 拟定零件的计算简图，根据机器的工作要求，计算作用在零件上的载荷。
- 3) 根据零件的工作条件及对零件的特殊要求（例如高温、高速等）选择适当的材料。
- 4) 拟定计算用的许用应力。
- 5) 根据零件可能出现的失效形式，按一定的工作能力准则确定其主要几何尺寸，并按标准及制造工艺要求进行调整。
- 6) 绘制零件工作图并标注必要的技术条件。

### 一、传统设计方法

目前最常用的设计方法有以下几种。

#### 1. 理论设计

这是根据已经掌握了合乎客观规律的理论及实践知识所进行的设计，按设计程序的不同，理论设计的计算过程又分为：

1) 设计计算：在零件尺寸尚未决定之前，根据载荷情况，由计算公式直接求出零件的某些主要尺寸。

2) 校核计算：先按经验规范近似计算、类比等初步定出零件的形状及尺寸，然后由理论计算的方法校核零件危险剖面上的安全系数、工作能力和载荷能力等。

#### 2. 经验设计

根据对某类零件已有的设计与使用实践而总结出来的经验关系式，或根据设计者的经验，采用类比的方法进行的设计。通常经验设计都是用于外形复杂、载荷情况不明、而目前尚不能用于理论分析的零件设计中，例如机架、变速箱体的设计等。

#### 3. 模型实验设计

对于一些体积较大的、结构复杂而重要的但以现有知识尚不足以详细分析的零件和部件，可采用模型实验设计的方法。将初步设计的零件和部件做出模型，经过实验，再根据实验结果进行修改，这样的过程叫模型实验设计。实质上，这也是一项科学研究工作，借助于实验研究弥补理论的不足，同时也消除了实验设计中不够科学的成分。

### 二、现代设计方法

常用的设计方法也是较为传统的设计方法，近年来，随着科技的不断进步，机械设计领域发生了深刻的变化，逐步形成了较为成熟的现代设计方法，主要有两种。

#### 1. 最优化设计思想

在此思想指导下所设计的机械零件，不仅仅只是合格零件、合格设计，而且就其选择材料和几何参数的取值来说，既要使零件所满足的使用要求达到最优化的程度，又要使不希望的失效准则达到最小，或限制在容许范围以内。

## 2. 设计变量随机化思想

传统的设计是把设计变量当作常量来看待的，实际的设计变量基本都是随机变量，由此引入“概率设计”，进而到“可靠性设计”，也就是从动态方面考虑零件的强度、刚度等工作能力指标。

现代化设计思想是和现代化设计方法、手段紧密相关的，随着电子计算机技术的发展，一些新的设计思想得以实现。加上材料科学、计算力学、摩擦学和设计理论的发展，逐渐形成了一整套现代设计理论和方法，表现为以下特点：

- 1) 从静态设计到动态设计。
- 2) 从单项设计指标到综合设计指标。
- 3) 从常规设计到精确设计。
- 4) 从手算设计到广泛应用计算机设计。

作为设计人员不仅要学习、掌握传统的设计方法，也要开阔视野，了解现代设计方法的动态，尽可能采用先进设计工具和技术，提高设计能力。

## 思 考 题

1. 试说明机器、机构、构件、零件的概念及其特征，并各举一例。
2. 机械设计的一般步骤有哪些？机械零件设计的一般步骤有哪些？
3. 传统设计方法有哪些？现代设计方法和传统设计方法主要区别是什么，设计人员应学习哪些设计方法？

# 第一章 机械的组成及机构运动简图

本章从总体上分析了机械的组成，主要是从运动和制造两个方面进行分析并介绍一些基本概念（如运动副、构件、零件、部件等）。还介绍了机构运动简图的画法和机构自由度的计算。

## 第一节 机械的组成

机械的种类繁多，但无论何种机械，总可以按功能分为三个组成部分。

原动部分：它是驱动机械运动并供给动力的部分，简称原动机。

工作部分：它是机械中直接实现工艺动作，完成生产任务的部分，其结构形式取决于机械本身的用途。

传动部分：它是将原动机输出的运动和能量传递给工作部分的中间联系环节，其主要作用是改变运动的速度或转变运动的形式。因为原动机（如电动机、发动机等）一般只具有固定的运动形式和速度，而工作部分的运动速度及形式则因工艺目的的不同而异。因此，大多数机械设备都有传动部分。

原动机（如电动机）一般已有定型产品，设计时只需根据工作部分要求和使用条件选择适当的型号即可；工作部分是由工艺要求决定的，它的设计问题将在有关的专业课程中研究；传动部分是一般机械的重要部分，机械的工作性能、外廓尺寸、重量和成本等，在一定程度上都直接与传动部分有关，而且，传动部分在机械中所占的比重很大，并有较大的通用性，它是本课程研究的主要内容。

下面先分析两个实例。

例 1-1 图 1-1a 所示为摆动式颚式破碎机。在电动机上装有小带轮，偏心轴上装有大带

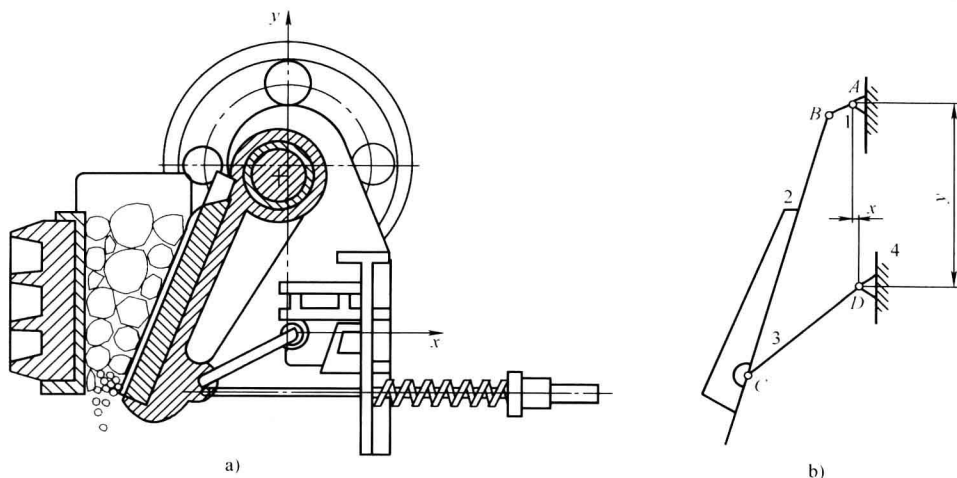


图 1-1

1—偏心轴 2—动颚 3—轴板 4—机架

轮，电动机通过带传动减速后带动偏心轴旋转（图中未画出）。动颚上部的孔套在偏心轴上，轴孔的几何中心为  $B$ ，偏心轴的旋转中心为  $A$ 。轴板两端分别与机架和动颚形成活动连接。偏心轴旋转时，驱使动颚做复杂摆动。当动颚靠近定颚时，加入两颚之间（破碎腔）的矿石受到挤压和劈裂作用而被破碎；在动颚离开定颚的过程中，被破碎了的矿石靠自重落下，经排矿口排出。

**解：**按组成部分划分：电动机为原动部分，胶带传动装置为传动部分，定颚与动颚系统（属曲柄摇杆机构）为工作部分。

**例 1-2** 图 1-2 所示为简化铁炉用的上料机（除去料车和滑轮外，它的主体部分——电动机 1、联轴器 3、减速器 4、制动器 2、5、卷筒 6 等合在一起又常称为卷扬机，常作为通用机械用于其他场合）。

**解：**从组成上看，显然电动机就是它的原动部分，减速器及钢丝绳卷筒系统（包括制动器）为传动部分，由钢丝绳牵引的料车为工作部分。

以上仅就机械各部分所完成的功能分析了机械的组成，这只是对机械的宏观认识。对于设计和使用机械来说，更为重要的是认识机械的结构、制造和运动特性。因此，还必须从机械的结构、制造和运动角度来进一步分析。

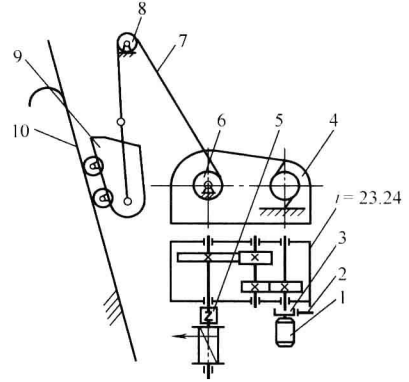


图 1-2

- 1—电动机 2、5—制动器 3—联轴器  
4—减速器 6—卷筒 7—钢丝绳  
8—滑轮 9—料车 10—轨道

## 第二节 零件、部件、机构

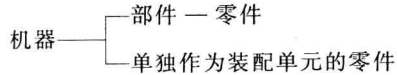
### 一、零件和部件

如前所述，任何机器都是诸多人为实体的组合。所谓“人为实体”，就是说它有一定的形状、大小和重量，由一定的材料、按预定的要求制造而成；所谓人为实体的“组合”，就是说这些实体还要按预定的方式装配连接起来，使彼此保持一定的相对关系，并能实现某种运动。

如果从结构和制造的角度来分析，任何机械都是由若干零件组成的。零件是机器中单独加工不可再分的单元体。它是组成机器的最基本的实体。零件按其在机器中所起的作用分为连接件、支撑件、传动件等类型。不同的零件具有不同的结构形状和加工要求。

由零件装配成机器时，往往根据不同的“组合”要求和工艺条件，把若干零件组成部件。所谓部件是按工艺条件划分的装配单元。每个部件中包含若干个零件，各零件间有确定的相对位置。部件中的零件可能实现某种相对运动，也可能相对静止，它们为完成同一功用而协同工作。部件按其不同的功用也可分为连接部件、支撑部件、传动部件等。

有少数零件在装配成机器时，不组成任何部件而单独作为一个装配单元与其他部件一起直接装配在机器上。所以，从结构和制造的角度来看，机器由若干部件组成，部件由若干零件组成，即：



机器的原动、传动、工作三部分，根据其不同的功能要求，各自包含有不同的零、部件。以上料机为例，它包含了电动机、联轴器、制动器、减速器、钢丝绳卷筒部件、滑轮、料车等部件。此外，还包含一个作为单独装配单元的机架零件。而这些部件中又各自包含着不同数量的零件。例如料车部件中包含车体、前后车轴、车轮、连接件（如螺栓）等。

## 二、机构和构件

机器的功能，主要由其组成部分的运动规律和运动形式所决定。如果抛开其结构和形态，仅从运动的角度来分析，机器实际上是由若干能完成确定运动的机构组成的。而每一个机构又是由若干个单元——构件组成的。对此，下面再作一些简单的分析。

### 1. 构件

构件是组成机构的最基本的运动单元。从研究机器的运动角度来看，并不是所有的零件都单独地影响机器的运动，常常由于结构和制造上的需要，把若干零件刚性地连在一起，作为一个整体运动。这个刚性整体显然只构成一个运动单元，称之为构件。当然，一个不与其他任何零件刚性连接的单独零件，也可成为一个基本的“运动”单元，可称为简单的构件。简言之，凡彼此之间没有相对运动，而与其他零件之间可以有相对运动的零件或零件组合，称为构件。

构件包含一个或若干个零件，如图 1-1 所示的颞式破碎机中，偏心轴和安装在它上的带轮、飞轮、键等，工作时作为一个整体作旋转运动，彼此之间没有相对运动，所以它们组成的整体算作一个构件。又如图 1-2 所示的上料机中的滑轮，就是单独由一个零件构成的运动单元，是最简单的构件。

### 2. 运动副

机器中的每一个构件，至少必须与另一个构件相连接。两构件之间能产生某些相对运动的活动连接称为运动副。

两构件形成运动副，总是通过点、线、面的接触来实现的。通过点、线接触所形成的运动副统称为高副（图 1-3）；通过面接触形成的运动副称为低副（如图 1-4）。从运动形式来区分，凡构件间仅能作相对转动的运动副称为回转副（图 1-4b）；仅能作相对移动的运动副称为移动副（图 1-4a）；仅能作相对螺旋运动（既有转动又沿转动轴线移动）的运动副称为螺旋副。

### 3. 机构

绪论中已经指出，满足机器三个特征的前两条（即：人为实体的组合；实体之间又具有确定的相对运动）时就成为一个机构。机构中固定不动的构件称为机架。可见，任何机构都是由许多构件组成的，各构件之间又互相联系，并具有完全确定的相对运动。

从运动特征来认识，任何一台机械设备都是由若干机构组成的（至少包含一个机构）。正是由于不同的机构和不同的组成方式，使不同的机械具有不同的功能。仍以图 1-1 所示颞式破碎机为例，它是由三角胶带传动机构和连杆等工作机构组成的。当电动机轴以一定的转速旋转时，偏心轴、动颞和肘板等构件各作确定的相对运动，同时由电动机提供能源，经动颞、定颞而作机械功，完成破碎矿石功能。

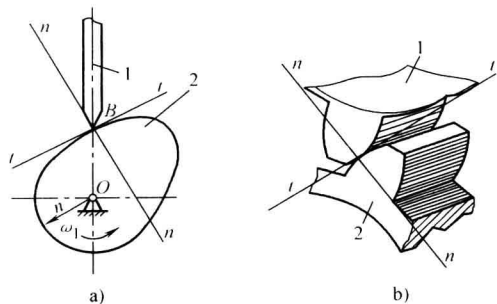


图 1-3

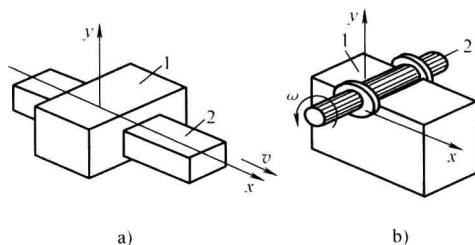


图 1-4

### 第三节 机构运动简图

在研究机构运动时，为了突出和运动有关的因素，而将那些与运动无关的因素（如构件的外形和剖面尺寸等）删减掉，注意保留与运动有关的外形（如凸轮），仅用规定的符号来表示构件和运动副，并按一定比例表示各运动副的相对位置。这种表示机构各构件间相对运动的简化图形，称为机构运动简图。

机构运动简图能简明扼要地表达一部机器的运动原理、运动传递关系、基本构件及其相互联系。所以，无论对于认识一个外形结构比较复杂的机器，或是表达一个设计、革新方案来说，机构运动简图都是必不可少的工具。

#### 一、运动副及构件的符号

##### 1. 移动副符号

图 1-5a、b 所示为两个活动构件形成的移动副符号，其中构件 2 表示导杆，构件 1 表示滑块或导路。不管两构件的形状简单或复杂，也不管构件尺寸的大小，在同一机构图中均用同一形式和同一大小的符号表示滑块或导路（如同样尺寸的长方形表示）。

图 1-5c、d、e、f 表示有一构件相对固定的移动副的符号。有阴影线的构件为相对固定构件，称为机架。在图 1-5c 和图 1-5d 中，构件 2 为机架，在图 1-5e 和图 1-5f 中，构件 1 为机架。

##### 2. 转动副符号

图 1-6a 表示由两活动构件形成的转动副的符号。不管连接处轴的直径大小，在同一机构图中均用同一大小的圆圈来表示转动副。图 1-6b 表示有一构件为机架的转动副符号。

两个构件均为活动构件的铰链，称为活动铰链，如图 1-6a 所示；有一构件为机架的，称为固定铰链，如图 1-6b 所示。

##### 3. 高副符号

图 1-7a 为凸轮副符号，需把凸轮的轮廓曲线画出。图 1-7b 为齿轮副符号，习惯上只画

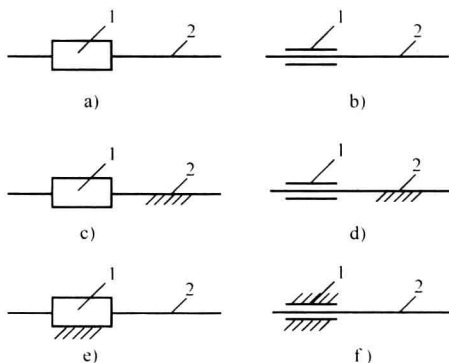


图 1-5

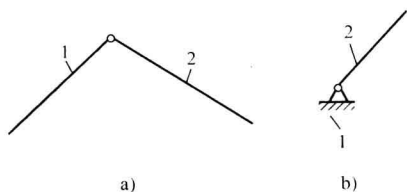


图 1-6

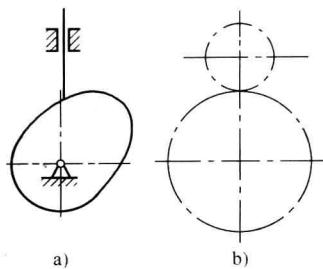


图 1-7

出两齿轮的节圆（点划线圆）。

#### 4. 构件的表示法

图 1-8a 表示参与形成两个转动副的构件。图 1-8b 所示为参与形成一个转动副和一个移动副的构件。图 1-8c、d、e 表示参与形成三个转动副的构件。三个转动副为三角形排列时，在构件的三个脚处画上“焊接”符号，如图 1-8c 所示；或者将三角形画上剖面线，如图 1-8d 所示。三个转动副在一条直线上时用图 1-8e 表示。形成更多的运动副的画法可依次类推。

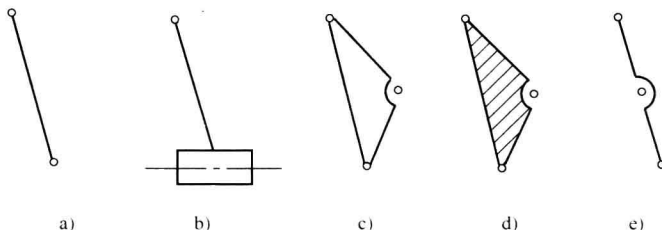


图 1-8

## 二、机构运动简图的画法

机构运动简图中要反映出机构中构件的数目、各构件间的运动副形式、固定构件（机架）的位置及主要参数、主动构件的运动方向、各运动副的位置（用一定比例画出）等。在机械制图国家标准中，规定了常用的机构和构件等的机构运动简图符号（GB 4460—1984），现将其部分内容摘录于附表 1 中，以供参考。

绘制机械的机构运动简图，一般可按如下步骤进行：

(1) 分析运动情况 首先要把原动部分、传动部分和工作部分区分清楚。找出固定构件（机架）和主运动构件，然后由主动构件（即原动部分）开始，沿运动传递路线，分析各构件间相对运动的性质及它们之间所形成的运动副种类。

(2) 量出反映各运动副间相对位置的尺寸 例如回转副之间轴心线的距离等。

(3) 选择视图 通常选用平行于构件运动的平面作为投影面，多数情况下用一个视图就可表达清楚，必要时可补充其他视图。

(4) 选择合适的比例 选择适当的比例尺（单位： $m/mm$ ），按各运动副间的距离和相对位置，用规定的符号和反映运动特征的简单线条画机构运动简图，根据需要，加注必要的



说明。

**例 1-3** 试绘制图 1-1a 所示颚式破碎机的机构运动简图。

**解：**该破碎机由偏心轴 1、动颚 2、轴板 3 和机架 4 组成。该机构共有三个活动构件，其中偏心轴 1 为主动件，其余为从动件。偏心轴 1 绕机架 4 上 A 点转动，故两者在 A 点形成固定铰链。偏心轴 1 和摆动颚板 2 在 B 点形成活动铰链。摆动颚板 2 和肘板 3 在 C 点形成活动铰链。肘板 3 和机架 4 在 D 点形成固定铰链。

绘制机构运动简图时，先选定直角坐标系  $Oxy$  和比例尺。在  $y$  轴上画出固定铰链 A，在按固定铰链 D 与 A 的相对位置  $x$ 、 $y$  画出铰链 D；然后选定主动件偏心轴 1 的位置，根据偏心距  $AB$  画出铰链 B；然后以 B 为圆心、 $BC$  距离为半径画弧，以 D 为圆心、 $CD$  距离为半径画弧，两弧的交点，即是铰链 C 的位置；最后，按规定符号表示构件及运动副，即绘出该机构的机构运动简图，如图 1-1b 所示。

**例 1-4** 试绘制图 0-1 所示的发动机机构运动简图

**解：**1. 分析机构运动，识别机构的结构

图示为活塞式内燃机机构，活塞 2 通过连杆 3 推动安装在机架上的曲轴转动。由此可知，该机构由曲轴 4、活塞 2、连杆 3 和气缸体 1 四个构件组成曲柄滑块机构。

与曲轴固接在一起的齿轮 5 推动齿轮 6 使其绕机架转动，故齿轮 5、6 与气缸体 1 组成齿轮机构。

与齿轮 6 固接在一起的凸轮 7 推动气阀挺杆 8 使其相对机架 1 移动，故凸轮 7、挺杆 8 与机架 1 三个构件组成凸轮机构。由上可知，各构件之间组成的运动副如下：构件 5 与 6、7 与 8 组成高副，构件 1 与 2 组成移动副，构件 2 与 3、3 与 4、4 与 1、5 与 1、6 与 1 等组成转动副。

2. 量取与运动有关的几何尺寸

3. 选择机构简图的主视图

选择图示各构件的运动平面为视图平面。按照规定绘制各运动副，其中凸轮 7、挺杆 8 组成的高副画出全部轮廓曲线，再用简单线条画各构件，便得到机构运动简图，如图 1-9 所示。

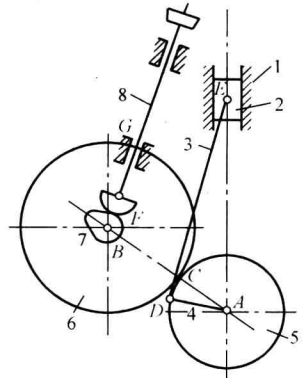


图 1-9

## 第四节 平面机构的自由度

### 一、平面机构自由度及计算

#### 1. 构件及平面机构的自由度

一个作平面运动的自由构件有三种独立运动的可能性。如图 1-10 所示，在  $Oxy$  坐标系中，构件 S 可随其上任意一点 A 沿  $x$  轴、 $y$  轴方向移动和绕 A 点转动。这种可能出现的独立运动的数目称为构件的自由度。由此可知，一个作平面运动的自由构件有 3 个自由度。

当两个构件组成运动副之后，它们的运动就受到约束，自由度数目随之减少。不同种类的运动副引入的约束不同，所保留的自由度也不同。如图 1-11 所示的转动副约束了