

中等职业教育规划教材

# 机械设计基础

张英 李玉生 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

中等职业教育规划教材

# 机械设计基础

主 编 张 英 李玉生  
副主编 凌 红  
参 编 张随喜 刘丽云 武 燕  
主 审 徐刚涛



机械工业出版社

本书根据中等职业教育的培养目标,结合生产实际,本着打好基础、精选内容、实用为主的原则,删减过深的理论知识,适当拓宽知识面,突出技能培养,并对相关教学内容进行适当综合。

本书分为8章,主要介绍常用机构、联接、机械传动、支承零部件等内容。内容由浅入深,便于组织教学,特别强调装拆、调整、使用、维护方面的实践技能的培养。

本书既可作为中等职业学校工程技术类专业用教材,也可作为有关技术工人的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/张英,李玉生主编. —北京:机械工业出版社,2006.5  
中等职业教育规划教材  
ISBN 7-111-18964-7

I. 机... II. ①张...②李... III. 机械设计-专业学校-教材  
IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第034794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:王海峰 崔占军 版式设计:张世琴  
责任校对:李秋荣 封面设计:陈沛 责任印制:杨曦  
北京机工印刷厂印刷  
2006年6月第1版第1次印刷  
184mm×260mm·10.25印张·250千字  
0 001—3 000册  
定价:15.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68326294  
编辑热线电话(010)68354423  
封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是根据当前中等职业教育的培养目标，结合相关专业的发展情况，在编者总结多年教学经验的基础上编写而成的。适合中等职业学校工程技术类专业学生使用。

本书本着打好基础、精选内容、实用为主的原则，适当拓宽知识面，反映科学新成就，加强理论联系实际和基本技能训练。本书除绪论外，共8章，主要介绍机构、联接、机械传动、支承零部件的工作原理、类型、结构、特点及相关设计计算等内容，并对教学内容进行适当综合，特别强调装拆、调整、使用、运行维护方面的实践技能的培养。本书中带“\*”号部分为选学或延伸内容，可根据专业需要和教学时数进行取舍。

参加本书编写的有：河南机电学校李玉生（绪论、第二、三章）、北京市仪器仪表工业学校张英（第一章）、河南省工业设计学校张随喜（第四、五章）、廊坊市工业学校刘丽云（第六章）、北京市汽车工业学校凌红（第七章）、河南机电学校武燕（第八章）。张英、李玉生任主编。本书由徐刚涛任主审，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，难免有错误与不妥之处，希望读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 绪论                      | 1  |
| 第一节 本课程研究的对象            | 1  |
| 第二节 本课程的内容、地位、基本要求和学习方法 | 3  |
| 第三节 机械设计的基本要求及一般过程      | 4  |
| 第四节 机械零件设计的基本要求及一般方法    | 6  |
| 思考与练习                   | 6  |
| 第一章 平面机构                | 8  |
| 第一节 平面机构的组成             | 8  |
| 第二节 平面机构运动简图            | 9  |
| 第三节 平面机构的自由度            | 11 |
| 第四节 平面连杆机构              | 12 |
| 思考与练习                   | 21 |
| 第二章 凸轮机构                | 23 |
| 第一节 凸轮机构的组成、应用和分类       | 23 |
| 第二节 凸轮机构的特性             | 25 |
| 第三节 凸轮机构的结构和材料          | 26 |
| 思考与练习                   | 28 |
| 第三章 其他常用机构              | 29 |
| 第一节 棘轮机构                | 29 |
| 第二节 槽轮机构                | 32 |
| 第三节 螺旋机构                | 33 |
| 第四节 组合机构                | 34 |
| 思考与练习                   | 35 |
| 第四章 联接                  | 36 |
| 第一节 键联接                 | 36 |
| 第二节 花键联接与销联接            | 40 |
| 第三节 螺纹联接                | 42 |
| 第四节 联轴器与离合器             | 47 |
| 思考与练习                   | 51 |
| 第五章 带传动                 | 52 |
| 第一节 带传动的类型、特点及应用        | 52 |
| 第二节 V带和V带轮              | 53 |
| 第三节 V带传动的工作能力分析         | 57 |
| 第四节 V带传动的设计             | 60 |
| 第五节 V带传动的张紧与维护          | 66 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 思考与练习 .....                | 68  |
| <b>第六章 齿轮传动</b> .....      | 69  |
| 第一节 齿轮传动的分类和特点 .....       | 69  |
| 第二节 渐开线齿廓 .....            | 70  |
| 第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮 .....      | 72  |
| 第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动 ..... | 76  |
| 第五节 渐开线齿轮的切齿原理及根切现象 .....  | 78  |
| 第六节 齿轮的失效形式和齿轮材料 .....     | 82  |
| 第七节 齿轮传动的精度 .....          | 85  |
| 第八节 标准直齿圆柱齿轮的强度计算 .....    | 87  |
| 第九节 平行轴斜齿圆柱齿轮传动 .....      | 94  |
| 第十节 直齿锥齿轮传动 .....          | 98  |
| 第十一节 齿轮传动的结构、润滑及使用 .....   | 101 |
| 第十二节 蜗杆传动 .....            | 104 |
| 思考与练习 .....                | 110 |
| <b>第七章 轮系</b> .....        | 112 |
| 第一节 轮系的概念及其分类 .....        | 112 |
| 第二节 定轴轮系的传动比计算 .....       | 113 |
| 第三节 行星轮系的传动比计算 .....       | 115 |
| 第四节 复合轮系的传动比计算 .....       | 118 |
| 思考与练习 .....                | 119 |
| <b>第八章 支承零部件</b> .....     | 122 |
| 第一节 滑动轴承 .....             | 122 |
| 第二节 滚动轴承 .....             | 127 |
| 第三节 轴 .....                | 139 |
| 第四节 润滑与密封 .....            | 149 |
| 思考与练习 .....                | 155 |
| <b>参考文献</b> .....          | 157 |

# 绪 论

## 第一节 本课程研究的对象

### 一、引言

人类自有文明史以来，就发明了机器和机构。古埃及人为了建造金字塔就已经应用了杠杆、斜面和圆滚木等简单机械。在中国，我们的祖先更是创造了光辉灿烂的古代文明。远在黄帝时代，就发明了车辆。汉代以后的指南车中已经利用了齿轮和轮系机构。东汉时期杜诗发明的水排如图 0-1 所示，它是利用水力鼓风炼铁的机械，其工作原理是利用流水推动水轮，经过带传动和平面连杆机构带动风箱鼓风。这种装置已具备了现代机械的雏形，是机械工程史上的重要创造，比欧洲类似机械早约 1200 年。

然而，现代机械却产生于以蒸汽机为标志的工业革命后，最早是在欧洲发展起来的。当工业革命的发展要求解决更复杂、更精密的运动控制问题时，机械设计就应运而生了，并在机械工业的发展中发挥了重要作用。19 世纪初期，法国人蒙哥首先创建了机械零件课程，标志着机械工业发展到一个新水平。随后，经过各国科学家的不懈努力，逐步形成了以常用机构和通用零件为研究对象的新学科——机械设计。

近几十年来，我国的机械工业和机械学科有了长足的发展。现在我国机械工业已能提供 600MW 的火电设备、6000m 的电动石油钻井、4000m<sup>3</sup> 高炉、数百种数控机床、加工中心，另外还可为核电站、运载火箭、人造卫星提供设备等。尽管我们在某些领域已经达到或超过世界先进水平，但总的来讲，与发达的工业国家仍有较大的差距，为了改变我国机械工业的现状，培养高素质技术应用性专门人才的任务就显得尤为紧迫。

### 二、机器及其基本组成

#### 1. 机器

在人们的生产和生活中广泛地使用着各种类型的机器，常见的如内燃机、各类机床、汽车、火车、推土机以及生活中常用到的洗衣机等。为了加深对机器的理解，先以图 0-2 所示牛头刨床为例进行分析。牛头刨床是由齿轮 1、齿轮 2、滑块 3、导杆 4、摇块 5、滑枕 6、床身 7、销钉 8、丝杠 9 及机架 10 组成。电机 1 通过带传动使齿轮 2 带动齿轮 3 转动，由销轴联在齿轮 3 上的滑块 4 随齿轮 3 转动，带动导杆 5 往复摆动，导杆 5 上端的销钉使滑枕 7 作

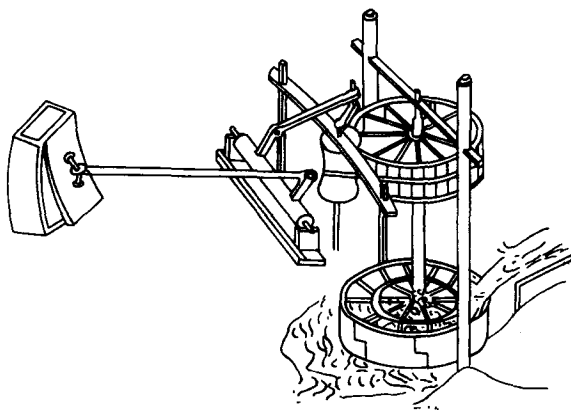


图 0-1 水排

往复直线运动，从而产生切削动作。同时，工作台 8 需通过其他部分带动丝杠 9 作间歇转动来实现横向的进给运动，以便能刨出平面。通过牛头刨床这些机件的协调动作，把电动机的电能最后转化为刨刀往复切削的机械能。

由上述实例分析及日常生活中所见到的其他机器可以看出：机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料（输送机等）、信息（录音机等）。

### 2. 机器的组成

机器种类繁多，形状各异，但就其功能而言，一部完整的机器主要由以下四个部分组成，如图 0-3 所示。

(1) 动力部分 是机器的动力来源，其作用是把其他形式的能转变为机械能以驱动机械运动并做功，如牛头刨床中的电动机。

(2) 执行部分 是直接完成机械预定功能的部分，如牛头刨床中的滑枕。

(3) 传动部分 是将动力部分的运动和动力传递给执行部分的中间环节，它可以改变运动速度、转换运动形式，以满足工作部分的各种要求，如牛头刨床中的带传动、齿轮传动及连杆机构等。

(4) 控制部分 是用来控制机械的部分，使操作者能随时实现或停止各项功能，如机器的开停、运动速度和方向的改变等，这一部分通常包括机械和电子控制系统。

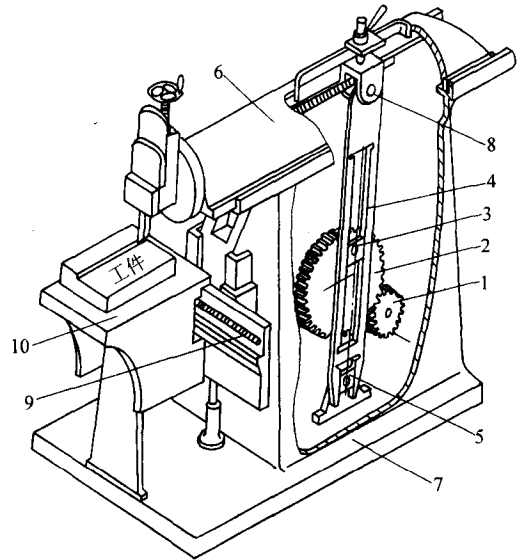


图 0-2 牛头刨床

- 1, 2—齿轮 3—滑块 4—导杆 5—摇块 6—滑枕  
7—床身 8—销钉 9—丝杠 10—机架

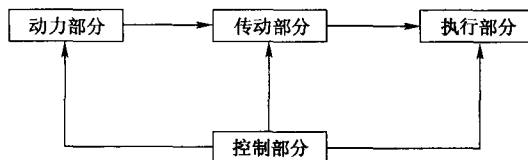


图 0-3 机器的组成

机器的组成不是一成不变的，有些简单的机器不一定完整具有上述四个部分，有的甚至只有动力部分和执行部分，如水泵、砂轮机，而对于较复杂的机器，除具有以上四个部分外，还包括有润滑、照明装置等。

### 3. 零件、部件和构件

从制造角度看，机器是由若干零部件组成的。零件是制造的单元，是机器的基本组成要素。概括地讲机械零件可分为两大类：一类是在各种机器中都能用到的零件，叫通用零件，如齿轮、螺栓、轴等；另一类则是在特定类型的机器中才能用到的零件，叫专用零件，如曲轴、吊钩、叶片等。此外，常把由一组协同工作的零件组成的独立制造装配的组合物件叫部件，如减速器、离合器等。部件是装配的单元。



从机械实现预期运动角度看, 机器是由若干构件组成的。组成机构的各相对运动部分, 称为构件, 构件是机器的运动单元。构件可以是单一的零件, 也可由若干零件组成, 如图 0-4 所示的内燃机的连杆是由连杆体 1、螺栓 2、螺母 3、开口销 4、连杆盖 5、轴瓦 6、轴套 7 等组成, 其一端与活塞相连, 另一端与曲轴相配合, 在内燃机中作为一个整体运动, 它是一个构件。

#### 4. 机构

当仅仅研究构件之间的相对运动, 而不考虑构件在做功和能量转换方面所起作用时, 通常把用来传递运动和力且有一个构件为机架的, 用运动副连接起来的构件系统称为机构。一些常见的机构如削铅笔器、照相机快门、机械钟、折叠椅、雨伞骨架等。机构按其原理可分为平面连杆机构、齿轮机构、凸轮机构、间歇机构等类型。最简单的机器只包含一个机构, 例如电动机就是由一个双杆机构组成的。大多数机器包含若干个机构, 如图 0-2 所示的牛头刨床, 齿轮 1、齿轮 2 和机架 10 组成一个齿轮机构; 齿轮 2、滑块 3、导杆 4、摇块 5、滑枕 6、及机架 10 组成一个平面连杆机构等。

机构是按一定规律传递运动和动力或改变运动形式; 机器能改变机械功或转换机械能。从结构和运动的角度看, 机器和机构没有区别, 从另一个方面讲, 在研究时必须首先将机器分解为机构, 因此为了方便起见, 通常用机械作为机器和机构的总称。

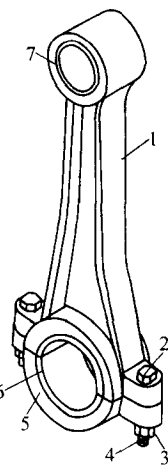


图 0-4 内燃机连杆

1—连杆 2—螺栓 3—螺母  
4—开口销 5—连杆盖  
6—轴瓦 7—轴套

## 第二节 本课程的内容、地位、基本要求和学习方法

### 一、本课程的内容

机器是由若干机构及零部件组成的, 机器的功能指标取决于机构类型及零部件的工作能力。为此, 本课程在简要介绍有关整部机器设计的基本知识的基础上, 重点讨论常用机构的组成原理、传动特点、功能特性、设计方法等基本知识, 重点讨论通用机械零件在一般工作条件下的工作原理、结构特点、选用及设计计算问题。本课程的主要内容如下。

- (1) 绪论部分 机械设计的基本原则, 一般过程等。
- (2) 常用机构部分 平面连杆机构、凸轮机构、槽轮机构、棘轮机构、组合机构等。
- (3) 联接部分 螺纹联接、键/销联接、联轴器、离合器等。
- (4) 传动部分 齿轮传动、带传动等。
- (5) 轴系部分 轴及滑动轴承、滚动轴承等。

### 二、本课程的地位

本课程是机电类专业的一门技术基础课, 它综合运用了工程力学、金属工艺学、机械制图、极限与配合等先修课程知识, 解决常用机构及通用零部件的分析设计问题, 较之以往的先修课程更接近工程实际, 但也有别于专业课程, 它主要是研究各类机械所具有的共性问题的, 在整个课程体系中占有十分重要的地位。

### 三、本课程的基本要求

- 1) 熟悉常用机构的工作原理、运动特性及机械设计的基本理论和方法。
- 2) 基本掌握通用零件的工作原理、选用和维护等方面的知识。
- 3) 初步具有运用标准、手册，查阅相关技术资料，进行一般参数的通用零件和简单机械传动装置的设计计算的能力，为学习后续专业课程打好基础。

### 四、学习方法

- 1) 了解机械、认识机械 学习本课程时要理论联系实际，多注意观察各种机械设备，分析各种机构的组成、构件之间的运动关系及零部件的结构、原理。在分析时要时刻注意机器在工作时是运动着的，树立“动”的观念。
- 2) 掌握方法，形成总体概念 学习机构、零部件的特点、设计方法时，要从机器总体出发，将各章节讨论的各种机构、通用零件有机联系起来，防止孤立、片面地学习各章内容，树立“综合”的观念。
- 3) 注意经验公式、参数、简化计算的使用条件。

## 第三节 机械设计的基本要求及一般过程

### 一、机械设计的基本要求

任何机械产品都始于设计，设计水平的高低直接关系到产品的功能和质量，关系到产品的成本和价格。用户希望得到物美价廉的产品，这就是我们设计的根本宗旨。为此，机械产品设计必须满足以下几方面的基本要求。

(1) 使用要求 机器必须首先满足使用要求，即能实现预定功能，并在规定的工作条件下、规定的工作期限内正常运转。为此，必须正确选择机器的工作原理、机构的类型和机械传动方案。

(2) 经济合理性要求 我们希望所设计的产品应功能强、生产效率高、制造成本低、使用维护方便。但是，制造成本低往往意味着性能差。所以设计时不仅要考虑制造成本，还要考虑使用成本，应使综合成本较低，即产品有一个合理的性能价格比。

(3) 安全性要求 安全性包括操作者的人身安全和机械设备的安全。在机器中可设置过载保护、互锁等装置。

(4) 可靠性要求 机械产品的可靠性是由组成机械的零、部件的可靠性保证的。机械系统的零、部件越多、其可靠度越低。为此，要尽量使机器简单化，减少机械系统的零件数目，并注意关键零件的设计。

(5) 其他要求 机械产品的规格、参数要符合国家标准，零部件应尽量能够与同类产品互换通用，实行三化即标准化、系列化、通用化，提高标准化程度和水平；注重产品的工艺造型设计，使产品美观大方、实用。同时还要考虑环境保护、劳动保护等要求。

## 二、机械设计的一般过程

机械设计是一项创造性工作，需要考虑的因素较多，解决问题的方案也不止一个，其一般设计过程可归纳如下。

### 1. 明确设计任务

设计任务通常是为实现某种功能而提出的，由于需求的提法往往是简短而不详细的，是非常不具体的。例如，“我们需要一台较好的装订机。”接到这样的任务后，就必须逐步明确具体的设计任务，才能有效地开展工作。

(1) 需求识别 首先要明确所设计的机器是给谁用的？用它干什么？如装订机是报刊管理员用来把单行本的过期杂志装订起来便于保存。

(2) 背景调查 背景调查是对设计问题进行调查研究，收集与该问题有关的物理、化学或其他方面的背景信息。如果该问题以前曾经求解过，则应把它找出来，不要做重复工作。如果找到了一个现成的结果，则应把它买过来，总比自己设计要经济些。绝大多数情况并非如此，但是通过调查研究现存的、有关的相似工艺和产品的技术，可以学到很多与求解问题有关的东西。这一步是设计过程中很重要的一个阶段，但遗憾的是经常被忽略。

(3) 目标陈述 一旦完全明了原先表述的设计问题的背景，就应该把设计问题改写为更明晰的目标陈述。对一个新设计问题，目标陈述应有三个特征：一般应是明确的；应该不经任何修饰，并对问题有一个预定的解；应该根据它的功能给出形象化描述。例如，原先需求说的是“设计一台较好的装订机”，在调查过许多种装订方法并仔细考虑后，一位聪明的设计师会重述目标为“设计一种在纸上加工孔的工具”，该机器满足的性能技术条件为：

- 1) 机器自带动力。
- 2) 要能穿透 10cm 厚的杂志。
- 3) 制造成本要低于 200 元。
- 4) 其他。

### 2. 总体方案设计

根据性能技术条件，确定机器的工作原理，拟定出总体设计方案。完成这一步需经过：

(1) 构思 构思的目的是产生大量不具体涉及其性质的想法，这其实也就是创新。创新的第一步是产生概念，这一步的目的是尽可能多地获得设计方案，甚至欢迎那种肤浅的、荒谬的想法，因为由此常可以引发出新的见识，并提出另一些更现实的方案。在创新过程中，若是到了“智力枯竭”的程度，可暂时放下来，等待瞬时顿悟。有许多技巧可以提高或激发设计问题的创新性求解。类推法是常用的一种，类推是把手头的问题与其他物理问题在某一个领域内作模拟，如将一个机械问题转化为流体问题。另一种有助于创新的有效技巧是同义词的应用，即先找出问题陈述中定义动作的动词，然后尽可能多地列出该动词的同义词。

例如：设计一种在纸上加工孔的工具。

行为动词是“加工”，其同义词有打、冲、穿、钻、凿、剜、掏等。

(2) 分析 对于构思阶段产生的各种方案进行分析比较，评判各自的优缺点，找出一些相对较合理的方案。经分析发现问题时，为确保设计成功，重复以上过程是必要的。

(3) 选择 通过技术分析表明有几个可用方案时，一种最通用的办法是通过技术设计，最好制出样机，通过试验来选择。

### 3. 技术设计

根据总体方案,进行运动、力学分析和强度计算,确定机构和零件的主要参数和尺寸,绘制装配图和零件图。

### 4. 样机的试制和鉴定

设计的机器是否能满足预定的功能要求,则需要进行样机试制和鉴定。在样机试制和鉴定过程中,发现不合理之处应及时修改,使设计达到比较合理的状态。

### 5. 评价

对设计的机器要从技术、经济和可靠性方面进行综合评价。

### 6. 提供设计方案

经过经济和技术评价全面达到要求后,即可向承制单位提供设计方案,包括图样和各种技术文件。

上述设计过程是互相联系、互相影响、互相制约的,不能截然分开,各阶段常常交叉进行,并多次反复。

## 第四节 机械零件设计的基本要求及一般方法

### 一、设计机械零件的基本要求

零件设计的基本要求是根据机器的要求确定的,一般概括为以下两点。

(1) 使用要求 设计的零件应在预定的使用寿命周期内按规定的工作条件可靠地工作。

(2) 经济性要求 经济性要求贯穿于零件设计的全过程,要使零件成本低廉,关键要注意以下几点。

- 1) 在满足强度条件时,合理选择材料。
- 2) 合理确定精度等级。
- 3) 赋予零件良好的工艺性,降低装配费用。
- 4) 尽可能采用标准化的零、部件。

### 二、机械零件设计的一般方法

- 1) 根据零件的功能及使用要求,选择零件类型并拟定计算简图。
- 2) 分析零件的受力状况,考虑各种因素对载荷的影响,确定计算载荷。
- 3) 根据零件的工作条件,合理选择材料及热处理方法,并确定许用应力。
- 4) 分析零件可能的失效形式,确定设计准则,确定零件的基本尺寸。
- 5) 确定零件的主要参数和几何尺寸,确定零件结构。
- 6) 绘制零件工作图,拟定技术要求。

7) 上述设计步骤,对于不同的零件和工作条件,可以有所不同。另外,在设计过程中有些步骤是相互交错、反复进行的。

## 思考与练习

0-1 什么是机构?什么是机器?什么是机械?各举例说明。

## 绪 论

- 0-2 什么是通用零件？什么是专用零件？各举例说明。
- 0-3 指出下列机器的动力部分、传动部分、执行部分和控制部分：1) 汽车；2) 起重機；3) 搅拌机；4) 洗衣机。
- 0-4 构件与部件都可以是由若干个零件组成，故构件和部件是一样的，这种说法对吗？
- 0-5 机械设计的基本要求有哪些？列举你所熟悉的机械产品并说明这些要求。

# 第一章 平面机构

所有构件都在同一个平面或相互平行的平面内运动的机构称为平面机构，否则称为空间机构。目前工程中常见的机构大多属于平面机构，因此，本章主要讨论平面机构。

## 第一节 平面机构的组成

### 一、平面机构中的构件分类

组成机构的各相对运动部分，称为构件。它是机构的运动单元，可由一个或多个零件组成。

机构中的构件通常分为三类。

(1) 机架 机构中用来支承活动构件的固定构件称为机架。

(2) 主动构件 由外界输入已知运动规律的构件。

(3) 从动构件 随主动构件的运动而运动的其余构件。

任何一个机构中，必有一个构件被相对地看作固定件。例如，气缸体虽然跟随汽车运动，但在研究发动机的运动时，仍把气缸体当作固定件。在活动构件中必须有一个或几个原动件，其余的都是从动件。

### 二、运动副

机构是由构件组成的，机构中的每个构件都以一定的方式与其他构件相互连接。这种两构件直接接触并能产生一定相对运动的连接称为运动副。两构件相接触的形式，不外乎点、线或面的接触。按照两构件接触性质不同，通常把运动副分为低副和高副两类。

#### 1. 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。平面机构中的低副分为回转副和移动副两种。

(1) 回转副 组成运动副的两构件只能在一个平面内相对转动，称为回转副。如图 1-1a 所示的轴与轴承的连接、图 1-1b 所示的铰链连接。图中构件 2 与构件 1 之间绕轴线转动。

(2) 移动副 组成运动副的两个构件只能沿某一轴线相对移动，称为移动副，如图 1-2 所示。

#### 2. 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。图 1-3a 中的车轮与钢轨、图 1-3b 中的凸轮与从动件、图 1-3c 中的轮齿 1 与轮齿 2 分别在接触处组成高副。这种运动副允许两构件在接触点 A 相对转动和沿切线  $t-t$  方向相对移动。

由于低副是面接触，承受载荷后，其压力比点或线接触的高副低得多，因此低副比高副耐磨。

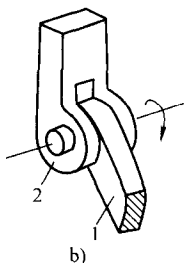
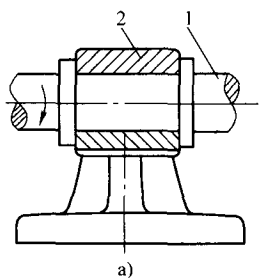


图 1-1 回转副

a) 轴与轴承的连接 b) 铰链连接

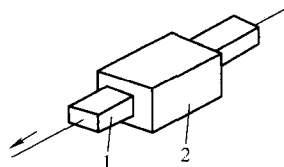


图 1-2 移动副

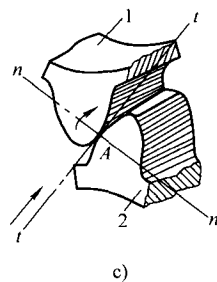
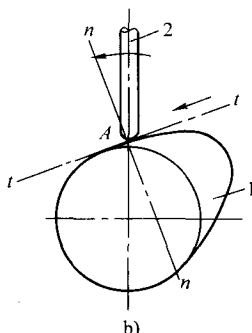
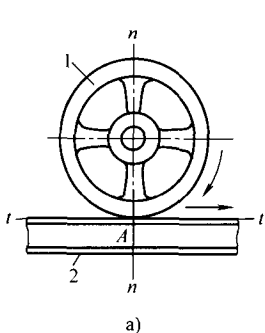


图 1-3 高副

a) 车轮与钢轨 b) 凸轮副 c) 齿轮副

## 第二节 平面机构运动简图

实际构件的外形和结构往往很复杂，在研究机构运动时，为了使问题简化，可以不考虑那些与运动无关的因素（如构件外形、运动副具体构造），仅用简单线条和规定符号来表示构件和运动副，并按比例表示各运动副的位置。这种说明机构各构件间相对运动关系的简单图形，称为机构运动简图。

### 一、运动副的表示方法

图 1-4a、b、c 是两个构件组成回转副的表示方法，回转副用圆圈表示。若组成回转副的两构件都是活动件，则用图 1-4a 表示；若其中有一个为机架，则在代表机架的构件上加上短斜线，如图 1-4b、c 所示。

移动副的表示方法如图 1-5a、b、c 所示。

两构件组成高副时，在图中应当画出两构件接触处的曲线轮廓，如图 1-6 所示。

### 二、构件的表示方法

图 1-7 为常见构件的表示方法。图 1-7a 表示参与两个回转副的构件；图 1-7b 表示参与一个回转副和一个移动副的构件；图 1-7c 表示参与三个回转副的构件；如果三个回转副中心在一条直线上，可用图 1-7d 表示。

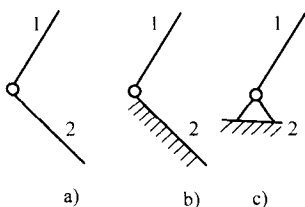


图 1-4 回转副表示方法

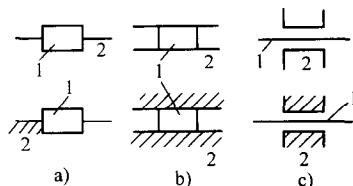


图 1-5 移动副表示方法

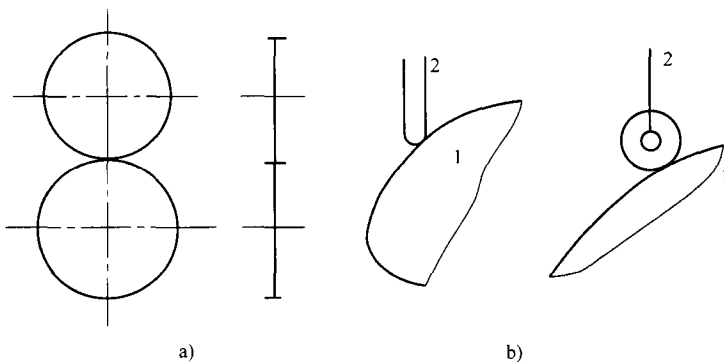


图 1-6 高副表示方法

a) 齿轮副 b) 凸轮副

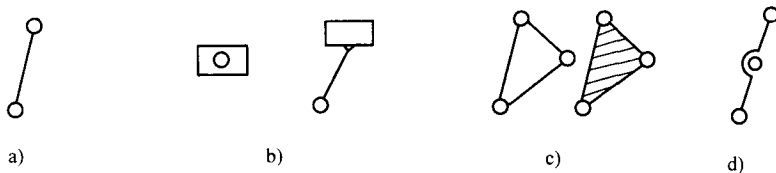


图 1-7 构件表示方法

### 三、绘制机构运动简图

**例 1-1** 绘制图 1-8 所示颞式破碎机的机构运动简图。

**解：**

(1) 分析机构运动，确定构件数目，分清原动件、从动件、机架。

颞式破碎机的主体机构由偏心轴（曲轴 1）、连杆 2、肘板 3、4、动颞 5，机架 6 共六个构件组成。偏心轴是原动件，连杆、肘板和动颞都是从动件。当偏心轴在与它固联的带轮的拖动下绕轴线转动时，驱使动颞将矿石轧碎。

(2) 从原动件开始，沿传动路线，确定运动副的种类和数目。

偏心轴 1 与机架绕轴线相对转动，故构件 1 与机架组成以  $A_0$  为中心的回转副，连杆 2 与偏心轴 1 绕轴线  $A$  相对转动，故构件 1、2 组成以  $A$  为中心的回转副；肘板 3、4 与连杆组成以  $B$ 、 $D$  为中心的转动副，肘板 3 与机架组成转动副，肘板 4 与动颞组成以  $C$  为中心的转动副，动颞与机架组成转动副。

(3) 确定视图平面，选转动平面与视图平面。

(4) 选定适当比例尺，根据图 1-8a 尺寸定出运动副的相对位置，用构件和运动副的规定



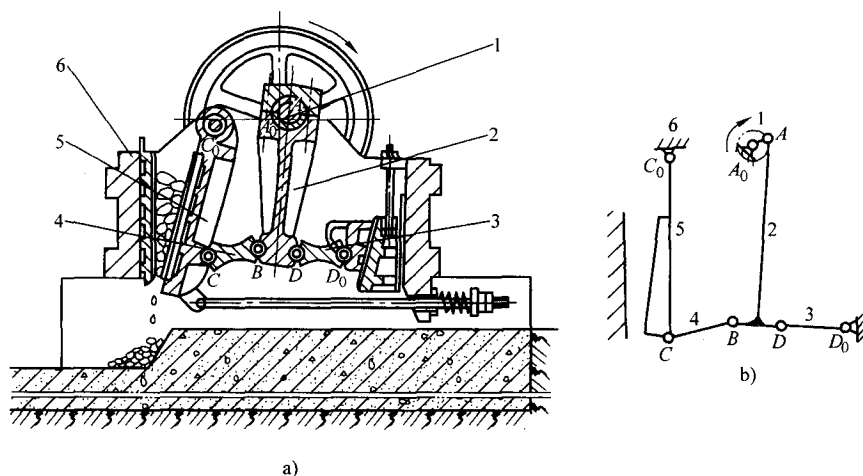


图 1-8 颞式破碎机

1—偏心轴 2—连杆 3, 4—肘板 5—动颞 6—机架

符号绘出机构运动简图，如图 1-8b 所示。

(5) 机架画上斜线，在原动件 1 上标出指示运动方向的箭头。

### \* 第三节 平面机构的自由度

机构是由运动副组成的构件系统。不能产生相对运动或无规则运动的一堆构件不能成为机构。如何判断构件是否能产生相对运动并具有运动确定性，这是本节要探讨的机构自由度和机构具有确定运动的条件。

#### 一、平面机构自由度计算

一个作平面运动的自由构件具有三个自由度。即沿  $X$  轴和  $Y$  轴的移动，以及在  $OXY$  面内的转动。

当两个构件组成运动副之后，它们的相对运动就受到约束，自由度数随之减少。运动副的类型不同引入的约束也不同，所以保留的自由度也不同。例如，图 1-1 所示的回转副约束了两个移动自由度，只保留一个转动自由度；图 1-2 所示的移动副，约束了沿一轴方向的移动和在平面内的转动两个自由度，只保留沿另一轴方向的移动自由度；图 1-3 所示高副只约束了沿接触处公法线  $n-n$  方向的移动自由度，保留了绕接触处的转动和沿接触处公切线  $t-t$  方向的两个移动自由度。在平面机构中，每个低副引入两个约束，使构件失去两个自由度；每个高副引入一个约束，使构件失去一个自由度。

设平面机构共有  $N$  个构件。除去固定件，机构中的活动构件数为  $n = N - 1$ 。在没有用运动副连接之前，活动构件的自由度总数应为  $3n$ 。当用运动副将构件连接起来组成机构之后，机构中各构件具有的自由度数减少了。若机构中低副的数目为  $p_L$  个，高副数目为  $p_H$  个，则机构中全部运动副引入的约束总数为  $2p_L + p_H$ 。机构的自由度就是活动构件的自由度总数减去约束总数，用  $F$  表示，即