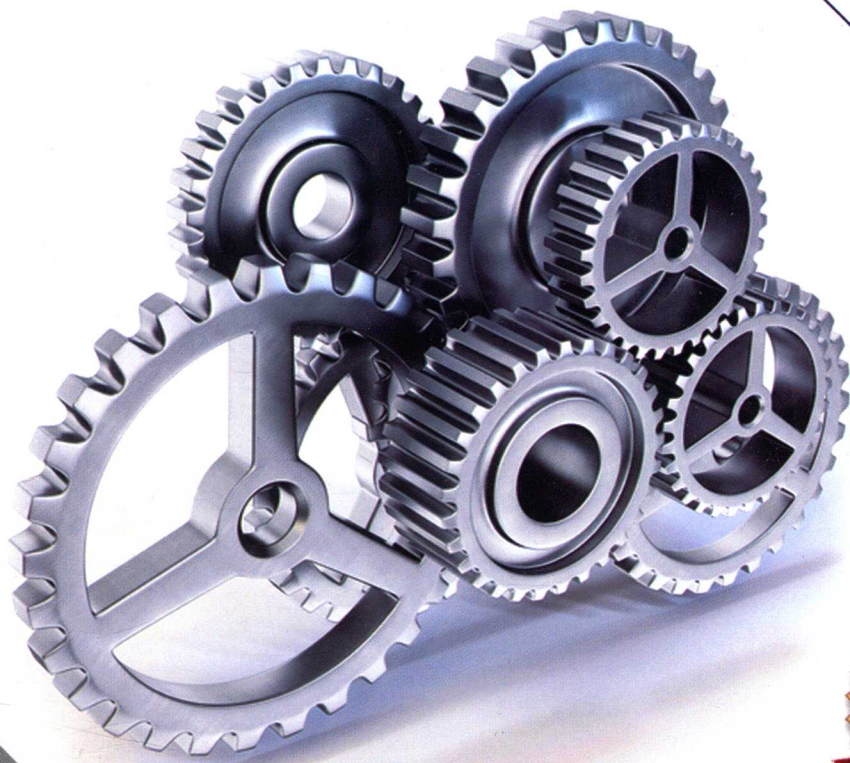




高职高专“十二五”规划教材——机电专业系列

# 机械设计基础 项目化教程

主编·熊玲鸿 颜颖 曹瑞香



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

配套课件  
习题答案等  
教学资源

免费提供

高职高专“十二五”规划教材——机电专业系列

# 机械设计基础项目化教程

主 编 熊玲鸿 颜 颖 曹瑞香  
副主编 徐 钦 于桂萍

东南大学出版社

·南京·

## 内容简介

本书针对高职教学特点,以对学生进行通用机械设计能力的训练为目标,按项目教学法、任务引领的思路进行编写,力求探索当前职业教育的新形式,强调职业技能实际应用能力的培养,以工程实际中的设备、机构、零件为载体,通过知识点详细地讲解机械设计基本方法和基本技能。全书共10个项目,内容包括机械基础知识、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、机件连接、带传动设计、齿轮及轮系设计、轴承的设计、轴的设计、其他零部件设计。本书结合工程实际,列举丰富多样的示例,项目均采用学习目标、任务导入、任务分析、相关知识、任务实施、技能训练、思考与练习等模式展开,以帮助学生掌握和巩固所学内容,加强应用所学理论知识解决实际问题的能力。

本书主要适合高职高专机械、模具、数控、机电和汽车类等相关专业使用,也可以作为成人高等教育、机械技术社会培训大专班等相关课程的教材及供工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础项目化教程 / 熊玲鸿, 颜颖, 曹瑞香  
主编. —南京: 东南大学出版社, 2015. 6  
ISBN 978-7-5641-5815-6

I. ①机… II. ①熊… ②颜… ③曹… III. ①机械  
设计—高等教育—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 124759 号

### 机械设计基础项目化教程

出版发行: 东南大学出版社  
社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮编: 210096  
出 版 人: 江建中  
责任编辑: 史建农 戴坚敏  
网 址: <http://www.seupress.com>  
电子邮箱: [press@seupress.com](mailto:press@seupress.com)  
经 销: 全国各地新华书店  
印 刷: 常州市武进第三印刷有限公司  
开 本: 787mm×1092mm 1/16  
印 张: 17.25  
字 数: 442 千字  
版 次: 2015 年 6 月第 1 版  
印 次: 2015 年 6 月第 1 次印刷  
书 号: ISBN 978-7-5641-5815-6  
印 数: 1—3000 册  
定 价: 35.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

# 前 言

本书是根据教育部有关机械设计基础课程教学基本要求和新近颁布的国家有关标准编写而成的。

本书在编写过程中深入研究和充分吸收近年来国内外高职教育课程改革、教材建设的成果和经验,以培养面向生产、建设、服务和管理第一线需要的高技能人才为目标,从实现各专项能力的需要出发,以“必需”、“够用”为度,密切结合工程实际。本书适合高职高专机械、模具、数控、机电和汽车类等相关专业使用,也可以作为成人高等教育、民办高校、高级技校、技师学院、机械技术社会培训大专班等相关课程的教材及供工程技术人员参考。

作为机械学科课程体系中的一门技术基础课教程,本书编写中力求具有如下特色:

1. 对机械设计基础整体内容进行了重新编排与整理。全书按照实际工程的内在联系和认识的一般规律,依照项目教学重构教学体系,将全书内容分为10个项目进行阐述,形成以设计任务为主线,以实际工程中的设备、机构、零件为载体的教学体系,项目均采用学习目标、任务导入、任务分析、相关知识、任务实施、技能训练、思考与练习等模式展开。

2. 项目教学中,以任务驱动导向,教材列举了丰富多样的工程案例,从常见的工程实践出发,讲清基本概念、工作原理,强调职业技能实际应用能力的培养,具有很强的实践性。

3. 书中在列出定义、公式时主要着力于定性的分析,省略或简化了数学的推导过程,并将机械设计基础所涉及的力学知识高度整合,分三部分在相应的项目中讲解。

本教材由熊玲鸿、颜颖、曹瑞香担任主编,徐钦、于桂萍任副主编。江西制造职业技术学院熊玲鸿编写了项目一、二、三、七;郑州工业安全职业学院徐钦和南京工业大学于桂萍编写了项目四;江西制造职业技术学院颜颖编写了项目八、九、十;江西制造职业技术学院曹瑞香编写了项目五、六;况建军、范双双、肖珍、左斌、张丽萍、段莉远、刘礼鹏为本书的编写提供了大量的素材和图片。

本教材在编写过程中参考了一些相关文献,在此对这些文献的作者表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者和同行提出宝贵意见。

编 者

2015年5月



# 目 录

项目一 机械基础知识	1
任务一 机构的认识与表达	1
任务二 判别机构是否具有确定运动	8
思考与练习	14
项目二 平面连杆机构	16
任务一 分析平面四杆机构的运动特性	16
任务二 设计汽车内燃机中的曲柄滑块机构	48
思考与练习	53
项目三 凸轮机构	56
任务 设计汽车内燃机配气机构中的盘形凸轮机构	56
思考与练习	66
项目四 间歇运动机构	68
任务 蜂窝煤压制机中的间歇运动机构	68
思考与练习	74
项目五 机件连接	75
任务一 起重机吊钩螺纹连接的设计	75
任务二 设计减速器输出轴与齿轮的键连接	101
思考与练习	106
项目六 带传动设计	109
任务 带式运输机传动装置中的 V 带设计	109
思考与练习	127
项目七 齿轮及轮系设计	128
任务一 测量和计算齿轮的几何尺寸	128
任务二 设计单级齿轮减速器中的齿轮传动	141
任务三 蜗杆传动受力分析及效率计算	168
任务四 汽车变速箱传动设计	178
思考与练习	193

项目八 轴承的设计.....	197
任务一 校核滑动轴承.....	197
任务二 滚动轴承类型的选用.....	203
任务三 计算滚动轴承的寿命.....	210
思考与练习.....	223
项目九 轴的设计.....	224
任务一 估算轴的直径.....	224
任务二 轴的结构设计.....	247
任务三 设计单级齿轮减速器中的输出轴.....	252
思考与练习.....	258
项目十 其他零部件设计.....	260
任务一 选用电动起重机中的联轴器.....	260
任务二 离合器设计.....	265
思考与练习.....	269
参考文献.....	270



### 学习目标

#### 1) 知识目标

- (1) 对机器的组成有一个直观的了解;
- (2) 掌握机构、构件与零件的区别;
- (3) 了解本课程的性质、内容和任务;
- (4) 掌握平面机构运动简图的绘制及机构的运动条件。

#### 2) 能力目标

- (1) 描述机器的四大组成部分及其作用;
- (2) 从专业角度,较全面地介绍一款机械产品;
- (3) 用简单线条表达机构的运动关系;
- (4) 判定机构是否具有确定相对运动,以助机构分析与创新。

## 任务一 机构的认识与表达

### 任务导入

如图 1-1 所示牛头刨床,其刨头的运动是由平面机构来驱动的,试分析其机器的组成;绘制其机构运动简图。

### 任务分析

机器的种类很多,在我们的生活中普遍存在、发挥着各不相同的作用,虽然这些机器的具体构造各不相同,但它们确具有一些共同的基本特征。本任务要求结合实际,正确认识更多的机器,区分实际生产和生活中的机器有哪些共同的基本特征,同时区分机器与机构,认识构件与零件。不仅要了解机构组成部分及连接方式,而且

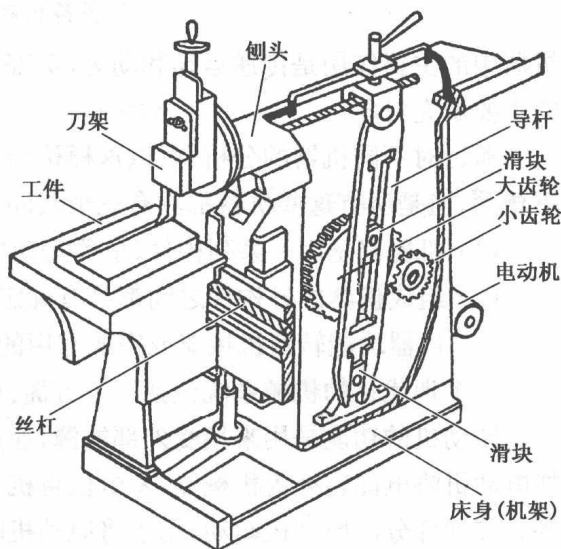


图 1-1 牛头刨床

要明白该机构具有哪些条件才能完成有关动作。

## → 相关知识

### 1.1.1 机器与机构

#### 1) 机器的组成及特征

机械是机器与机构的总称。机器是人类为了减轻体力劳动和提高生产率而创造出来的重要工具。人们在长期的生产实践中,创造发明了各种机器,并通过机器的不断改进,减轻人们的体力劳动,提高劳动生产率。使用机器进行生产的水平已经成为衡量一个国家的技术水平和现代化程度的标志之一。

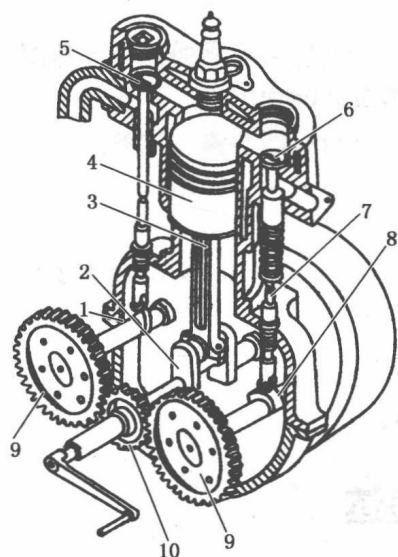


图 1-2 内燃机

一部机器都是由若干个机构组合而成,共同联合工作而实现预定的工作要求的。如图 1-2 所示的单缸内燃机,它由机架(气缸体)1、曲柄 2、连杆 3、活塞 4、进气阀 5、排气阀 6、推杆 7、凸轮 8 以及齿轮 9、10 组成。当燃烧的气体推动活塞 4 做往复运动时,通过连杆 3 使曲柄 2 做连续转动,从而将燃气的压力能转换为曲柄的机械能。齿轮、凸轮和推杆的作用是按一定的运动规律按时开闭阀门,完成吸气和排气。这种内燃机中有三种机构:(1)曲柄滑块机构,由活塞 4、连杆 3、曲柄 2 和机架 1 构成,作用是将活塞的往复直线运动转换成曲柄的连续转动;(2)齿轮机构,由齿轮 9、10 和机架 1 构成,作用是改变转速的大小和方向;(3)凸轮机构,由凸轮 8、推杆 7 和机架 1 构成,作用是将凸轮的连续转动变为推杆的往复移动,完成有规律地启闭阀门的工作。

以上机器中的齿轮机构、凸轮机构、曲柄滑块机构等,由于在各种机器中都有大量使用,故称为常用机构,这些机构在机器中的主要作用是传递运动和动力,实现运动形式或速度的变化。常用机构也就是本课程的主要研究对象。

通过对不同机器的分析,可以这样认为,机器是若干机构的组合体。机器的具体构造虽各不相同,但是所有这些机器都具有三个共同的基本特征:

- (1) 机器都是由一系列构件(也称运动单元体)组成。
- (2) 组成机器的各构件之间都具有确定的相对运动。
- (3) 机器均能转换机械能或完成有用的机械功。

一个现代化的机械系统包括四个方面:原动机、传动装置、执行机构和控制系统。

原动机的功能是用来接受外部能源,通过转换而自由运行,为机械系统提供动力输入,例如电动机将电能转换为机械能、发电机将机械能转换为电能、内燃机将化学能转换为机械能等等。传动部分由原动机驱动,用于将原动机的运动形式、运动及动力参数(如速度、转矩等)进行变换,改变为执行部分所需的运转形式,从而使执行部分实现预期的生产职能,控制系统实



现机、电、气、液、计算机综合控制。

## 2) 机构

机构是用来传递机械运动和动力的各实物组合。如图 1-2 中由活塞 4、连杆 3、曲柄 2 和机架 1 构成的曲柄滑块机构。尽管机构也有许多不同种类,其用途也各有不同,但它们都有与机器前两个特征相同的特征。由上述分析可知,机构是机器的重要组成部分,用以实现机器的动作要求。一部机器可能只包含有一个机构,也可由若干个机构所组成。

机器与机构的根本区别在于机构的主要职能是传递运动和动力,而机器的主要职能除传递运动和动力外,还能转换机械能或完成有用的机械功。

## 3) 构件与零件

零件是机器制造的基本单元体,而构件则是机器中的基本运动单元体,构件可以是单一零件,如内燃机中的曲轴,也可以是多个零件的刚性组合体,如图 1-3 所示的内燃机的连杆是由连杆体 1、连杆盖 5、螺栓 2、螺母 3、开口销 4、轴瓦 6 和轴套 7 等多个零件构成的一个构件。

在各种机械中普遍使用的零件称为通用零件,如螺钉、轴、轴承、齿轮等。只在某种机器中使用的零件称为专用零件,如活塞、曲轴、叶片等。

## 4) 本课程的性质、内容和任务

### (1) 本课程的性质

本课程是主要研究常用机构、通用零件与部件以及一般机器的基本设计理论和方法,是机械工程类各专业的主干课程,它介于基础课与专业课程之间,具有承上启下的作用,是一门重要的技术基础课。

### (2) 本课程的内容

研究机械中常用机构和机械零部件的工作原理、结构特点、基本设计理论和设计方法,并简要介绍机械系统方案设计的有关知识。

### (3) 本课程的任务

- ① 获得认识、使用和维护机械设备的一些基本知识。
- ② 运用有关设计手册、图册、标准、规范等设计资料的能力。
- ③ 掌握常用机构和通用零、部件的设计理论和方法。
- ④ 通过课程设计的训练,了解机器设计原则和主要内容,用所学的有关知识设计机械传动装置和简单机械的能力。
- ⑤ 掌握典型零件的实验方法和培养实验技能。
- ⑥ 了解常用的现代设计方法及机械发展动向。

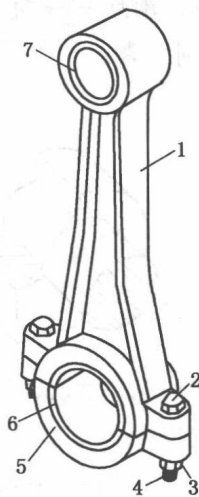


图 1-3 连杆

## 1.1.2 平面机构及运动简图

### 1) 运动副及其分类

#### (1) 运动副

机构是具有确定相对运动构件的组合物。为实现机构的各种功能,各构件之间必须以一

定的方式联接起来,并且能具有确定的相对运动。两构件直接接触并能产生一定相对运动的联接,称为**运动副**,也可以说运动副就是两构件间的可动联接。如图 1-4 中轴与轴承、铰链联接、滑块与导轨、轮齿与轮齿等都构成运动副。而两构件直接接触构成运动副的部分称为**运动副元素**。

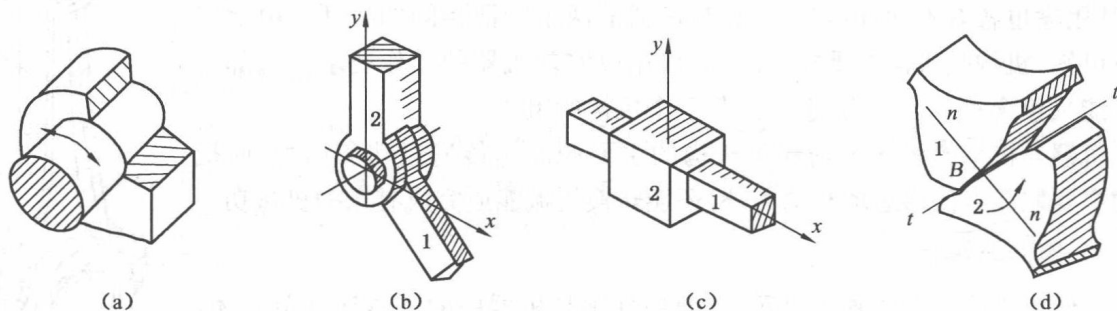


图 1-4 运动副

### (2) 运动副的分类

根据运动副各构件之间的相对运动是平面运动还是空间运动,可将运动副分成平面运动副和空间运动副。所有构件都只能在相互平行的平面上运动的机构称为平面机构,平面机构的运动副称为平面运动副。

按两构件间的接触特性,平面运动副可分为**低副**和**高副**。

**低副**:两构件间为面接触的运动副称为低副。根据构成低副的两构件间的相对运动特点,又分为**转动副**和**移动副**。

两构件只能做相对转动的运动副为转动副。如图 1-4(a)、(b)中轴承与轴颈的联接,铰链联接等都属转动副。

移动副是两构件只能沿某一轴线相对移动的运动副,如图 1-4(c)所示。

**高副**:两构件间为点、线接触的运动副称为高副,如图 1-5(a)所示的车轮与钢轨、图 1-5(b)所示的凸轮与从动件、图 1-5(c)所示的齿轮啮合等均为高副。

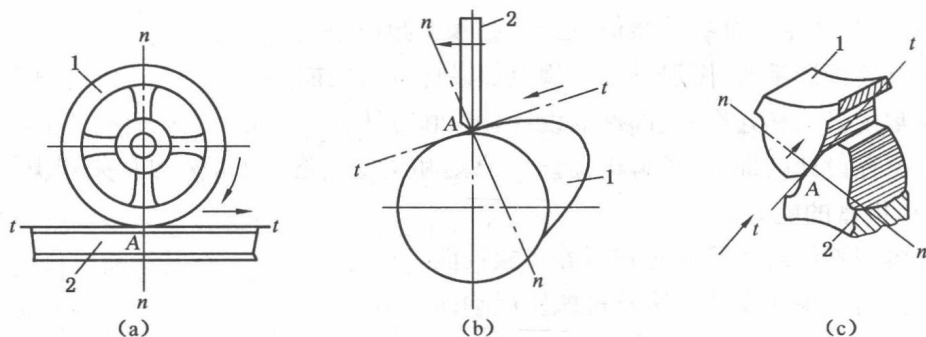


图 1-5 高副

常用的运动副还有球面副(球面铰链,如图 1-6(a)所示)、螺旋副(如图 1-6(b)所示),均为**空间运动副**。

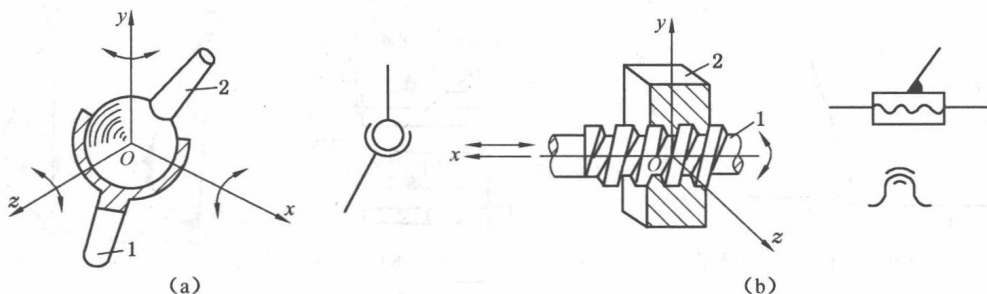


图 1-6 空间运动副

## 2) 平面机构运动简图

我们已经知道任何一个机构都是由若干构件组成,这些构件可以分为三类:原动件、机架、从动件。将机构中作用有驱动力或力矩的构件称为原动件,有时也可以把运动规律已知的构件称为原动件;机构中固结于参考系的构件称为机架;机构中除了原动件和机架以外的构件通称为从动件。在任何一个机构中,必须且只能有一个构件作机架;在可动构件中必须有一个或几个构件为原动件。

### (1) 平面机构运动简图的概念

对机构进行分析的目的在于了解机构的运动特性,即组成机构的各构件是如何工作的。故在分析时只需要考虑与运动有关的构件数目、运动副类型及相对位置,而无需考虑机构的真实外形和具体结构。因此常用一些简单的线条和符号画出图形,进行方案讨论、运动和受力分析。这种撇开实际机构中与运动关系无关的因素,并用按一定比例及规定的简化画法表示各构件间相对运动关系的图形称为机构运动简图。图 1-7 所示为内燃机的运动简图。

只要求定性地表示机构的组成及运动原理,而不严格按比例绘制的机构图形称为机构示意图。

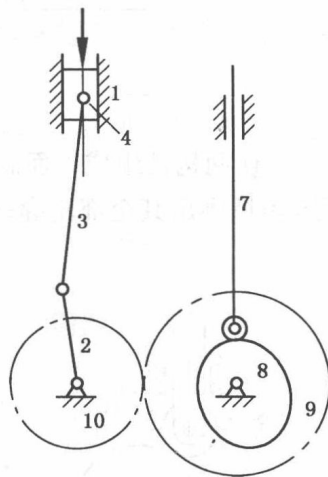


图 1-7 内燃机的运动简图

### (2) 运动副及构件的规定表示方法

① 构件常用直线或小方块等来表示,如图 1-8 所示。

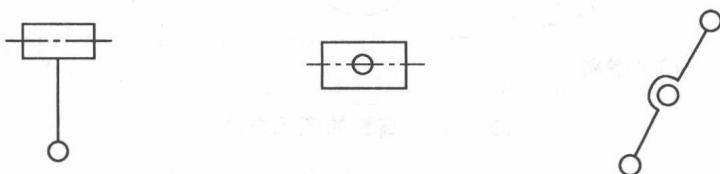


图 1-8 构件的表示方法

② 转动副的表示方法如图 1-9 所示,图中圆圈表示转动副,其圆心代表相对转动的轴线,画有斜线的表示机架,机架固定不动。一个构件具有多个转动副时,则应在两线交界处涂黑,或在其内画上斜线。

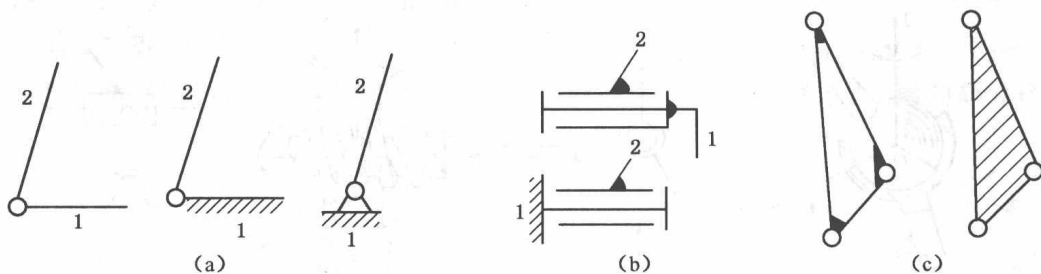


图 1-9 转动副的表示方法

③ 两构件组成移动副的表示方法如图 1-10 所示,移动副的导路必须与相对移动方向一致。

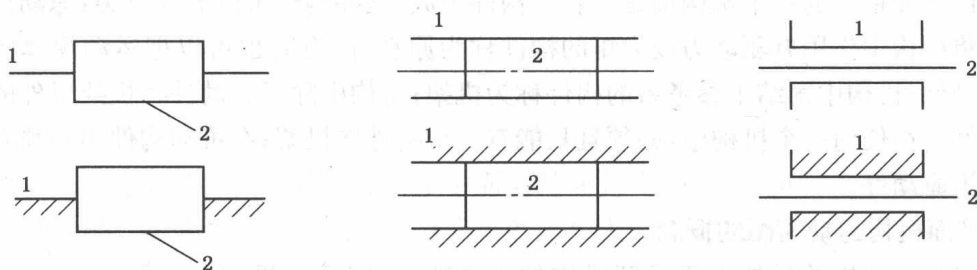


图 1-10 移动副的表示方法

④ 两构件组成平面高副时,其运动简图中应画出两构件接触处的曲线轮廓,对于凸轮、滚子,习惯画出其全部轮廓;对于齿轮,常用点划线画出其节圆,如图 1-11 所示。

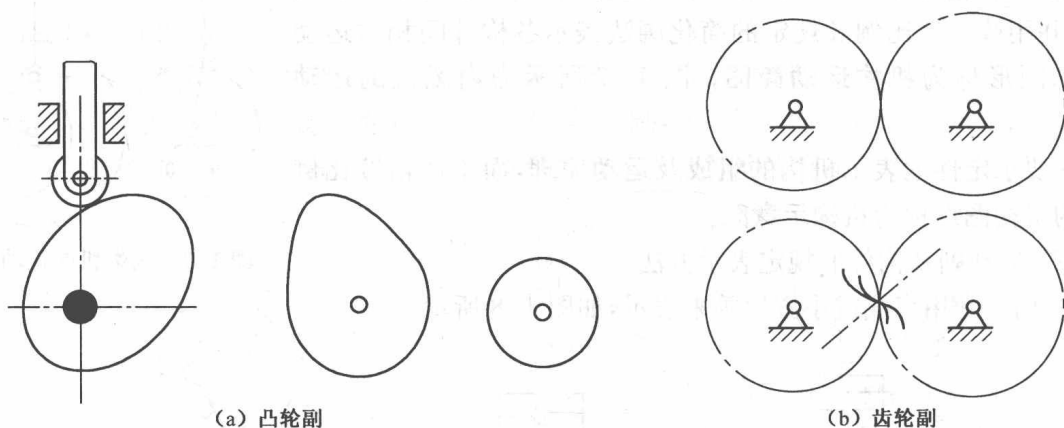


图 1-11 高副的表示方法

### (3) 平面机构运动简图的绘制步骤

绘制机构运动简图,首先应了解清楚机构的组成和运动情况,再按下列步骤进行:

- ① 分析机构的组成,确定机架,确定主动件及从动件的数目。
- ② 由主动件开始,循着运动路线,依次分析构件间的相对运动形式,并确定运动副的类型和数目。
- ③ 选择适当的视图投影平面,确定机架、主动件及各运动副间的相对位置,以便清楚地表

达各构件间的运动关系。通常选择与构件运动平行的平面作为投影面。

④ 按适当的比例尺,  $\mu_1 = \frac{\text{构件实际长度}(\text{mm})}{\text{构件图示长度}(\text{mm})}$ , 用规定的符号和线条绘制机构的运动简图, 并用箭头注明原动件。

**【例 1-1】** 绘制图 1-2 所示内燃机的机构运动简图。

步骤 1: 确定机架, 确定主动件、从动件。

由图 1-2 可知, 气缸体 1 是机架, 缸内活塞 4 是主动件。曲柄 2、连杆 3、推杆 7(两个)、凸轮 8(两个)和齿轮 9(两个)、10 是从动件。

步骤 2: 确定运动副类型。

由活塞开始, 机构的运动路线见下面的框图:



注: ~表示两构件同轴。

活塞与机架构成移动副, 活塞与连杆构成转动副; 连杆 3 与曲柄 2 构成转动副; 小齿轮 10 与大齿轮 9(两个)构成高副, 凸轮与滚子(两处)构成高副; 滚子与推杆 7(两处)构成转动副; 推杆 7 与机架(两处)构成移动副。曲柄、大小齿轮、凸轮与机架(六处)分别构成转动副。

步骤 3: 选择适当投影面, 这里选择齿轮的旋转平面为正投影面, 确定各运动副之间的相对位置。

步骤 4: 选择恰当的比例尺, 按照规定的线条和符号, 绘制出该机构的运动简图, 并注明原动件, 如图 1-7 所示。

.....

## 任务实施

分析图 1-1 所示牛头刨床机器的组成; 绘制其刨头运动的机构运动简图。

步骤 1: 分析牛头刨床机器的组成, 确定机架, 确定主动件、从动件。

图 1-1 所示的牛头刨床中, 有带传动机构(图中未画出)、齿轮机构, 它们主要用于实现运动速度的改变, 将电动机的高速变为工作机所需的较低的转速; 曲柄导杆机构, 将大齿轮的转动变为刨刀的往复运动, 并满足工作行程等速, 非工作行程急回的要求; 曲柄摇杆机构和棘轮机构(图中未画出)保证工作台的进给, 通过三个螺旋机构分别完成刀具的上下、工作台的上下及刀具行程的位置调整功能。

由图 1-1 可知, 床身 11 是机架, 小齿轮 2 是主动件, 大齿轮 3、滑块 4、导杆 5、滑块 6、刨头 7 是从动件。

步骤 2: 确定运动副类型。

由小齿轮开始, 机构的运动路线见下面框图:

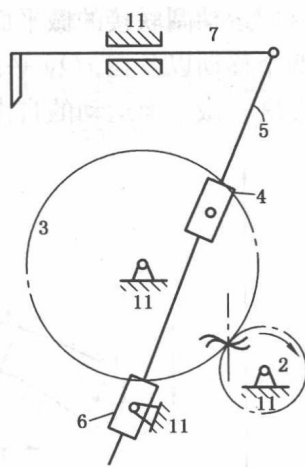
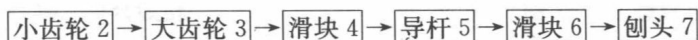


图 1-12 牛头刨床机构运动简图



小齿轮与机架构成转动副,小齿轮与大齿轮构成齿轮副,大齿轮与滑块 4 构成转动副,滑块 4 与导杆构成移动副,滑块 6 与导杆构成移动副,滑块 6 与机架构成转动副,导杆与刨头构成转动副;刨头与机架构成移动副。

步骤 3:选择适当投影面,这里选择齿轮的旋转平面为正投影面,确定各运动副之间的相对位置。

步骤 4:选择恰当的比例尺,按照规定的线条和符号,绘制出该机构的运动简图,并注明原动件如图 1-12 所示。

## 任务二 判别机构是否具有确定运动

### 任务导入

如图 1-1 所示牛头刨床,判定其能否实现所需要的确定运动。

### 任务分析

牛头刨床是由若干构件和运动副组成的系统,牛头刨床要实现运动变换,必须使其运动具有可能性和确定性,分析该机构具有哪些条件才能完成有关动作。

### 相关知识

#### 1.2.1 平面机构的自由度计算

##### 1) 自由度

由上述分析可知,两个构件以不同的方式相互联接,就可以得到不同形式的相对运动。而没有用运动副联接的做平面运动的构件,独自的平面运动有三个,即沿  $x$  轴方向和  $y$  轴方向的两个移动以及在  $xOy$  平面上绕任意点的转动,如图 1-13 所示。构件的这种独立运动称为自由度。做平面运动的自由构件具有三个独立的运动,即具有三个自由度。

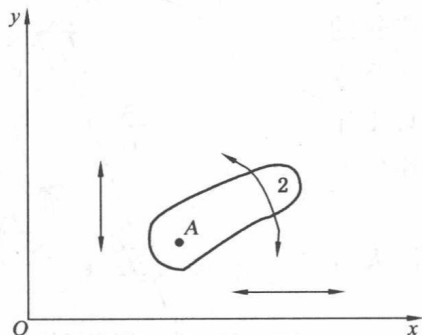


图 1-13 没有联接的平面运动构件的自由度

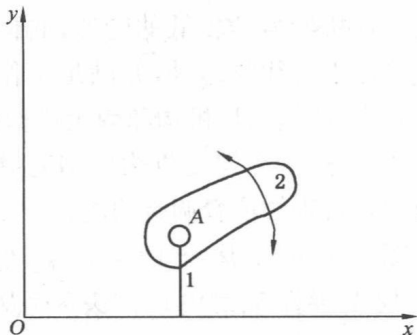


图 1-14 铰接后的平面运动构件的自由度

##### 2) 约束

当两构件之间通过某种方式联接而形成运动副时,如图 1-14 所示,构件 2 与固联在坐标

轴上的构件 1 在 A 点铰接, 构件 2 沿  $x$  轴方向和沿  $y$  轴方向的独立运动受到限制, 这种限制称为约束。

对平面低副, 由于两构件之间只有一个相对运动, 即相对移动或相对转动, 说明平面低副构成受到两个约束, 因此有低副联接的构件将失去两个自由度。

对平面高副, 如凸轮副或齿轮副(见图 1-5(b)、(c)), 构件 2 可相对构件 1 绕接触点转动, 又可沿接触点的切线方向移动, 只是沿公法线方向的运动被限制。可见组成高副时的约束为 1, 即失去 1 个自由度。

### 3) 机构自由度的计算

机构相对机架所具有的独立运动数目, 称为机构的自由度。

在平面机构中, 设机构的活动构件数为  $n$ , 在未组成运动副之前, 这些活动构件共有  $3n$  个自由度。用运动副联接后便引入了约束, 并失去了自由度。一个低副因有两个约束而将失去两个自由度, 一个高副有一个约束而失去一个自由度, 若机构中共有  $P_L$  个低副、 $P_H$  个高副, 则平面机构的自由度  $F$  的计算公式为

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

**【例 1-2】** 计算如图 1-15 所示搅拌机的自由度。

如图 1-15 所示的搅拌机, 其活动构件数  $n = 3$ , 低副数  $P_L = 4$ , 高副数  $P_H = 0$ , 则该机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

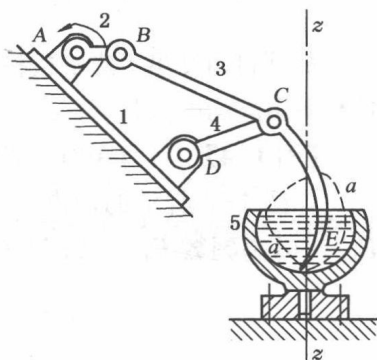


图 1-15 复合铰链

### 4) 平面机构自由度计算的注意事项

#### (1) 复合铰链

两个以上的构件共用同一转动轴线所构成的转动副, 称为复合铰链。

图 1-16 所示为三个构件在 A 点形成复合铰链。从左视图可见, 这三个构件实际上构成了轴线重合的两个转动副, 而不是一个转动副, 故转动副的数目为两个。推而广之, 对由  $k$  个构件在同一轴线上形成的复合铰链, 转动副数应为  $k-1$  个, 计算自由度时应注意这种情况。

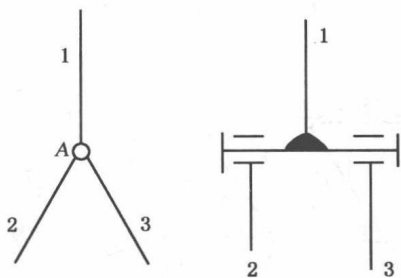


图 1-16 复合铰链

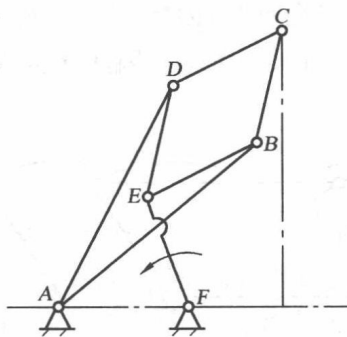


图 1-17 直线机构

**【例 1-3】** 求图 1-17 所示直线机构自由度。

在直线机构中, A、B、E、D 四点均为由三个构件组成的复合铰链, 每处应有两个转动副, 因此, 该机构  $n = 7, P_L = 10, P_H = 0$ , 其自由度

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$$

### (2) 局部自由度

与机构整体运动无关的构件的独立运动称为局部自由度。在计算机构自由度时, 局部自由度应略去不计。

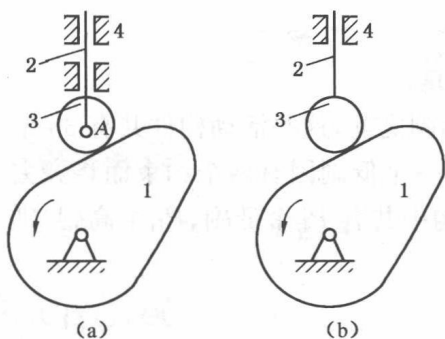


图 1-18 局部自由度

如图 1-18(a) 所示的凸轮机构中, 其中  $n = 3, P_L = 3, P_H = 1$ , 由公式得:  $F = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$ , 显然与实际不符。

这是由于构件 3 (小滚子) 绕 A 点的转动完全不影响从动件 2 的运动输出, 因而滚子转动的自由度属局部自由度。在计算该机构的自由度时, 应将滚子与从动件 2 看成一个构件, 如图 1-18(b) 所示, 由此, 该机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$$

局部自由度虽不影响机构的运动关系, 但可以变滑动摩擦为滚动摩擦, 从而减轻了由于高副接触而引起的摩擦和磨损。因此, 在机械中常见具有局部自由度的结构, 如滚动轴承、滚轮等。

### 【例 1-4】 计算单缸四冲程内燃机的自由度。

如图 1-7 所示的内燃机, 其活动构件数  $n = 5$ , 机构中滚子自转为局部自由度, 低副数  $P_L = 6$ , 高副数  $P_H = 2$ , 则该机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 2 = 1$$

### (3) 虚约束

机构中不产生独立限制作用的约束称为虚约束。

在计算自由度时, 应先去除虚约束。虚约束常出现在下面几种情况中:

① 两构件在联接点上的运动轨迹重合, 则该运动副引入的约束为虚约束。

如图 1-19(b) 所示机构中, 由于 EF 平行并等于 AB 及 CD, 杆 5 上 E 点的轨迹与杆 3 上 E 点的轨迹完全重合, 因此, 由 EF 杆与杆 3 联接点上产生的约束为虚约束, 计算时, 应将其去除, 如图 1-19(a) 所示。因此该机构的自由度为  $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$ 。

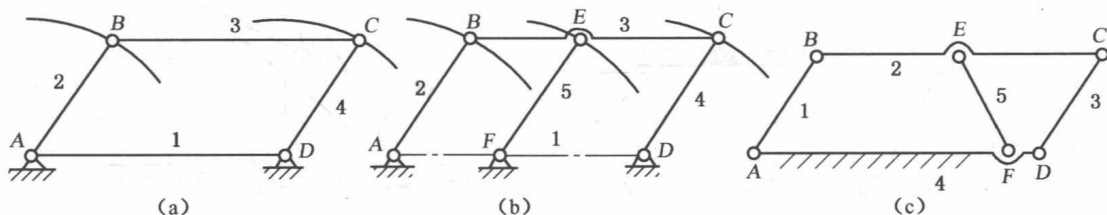


图 1-19 运动轨迹重合引入虚约束

但如果不满足上述几何条件,则  $EF$  杆带入的约束则为有效约束,如图 1-19(c)所示。此时机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0$$

② 两个构件组成多个轴线重合的转动副(如图 1-20(a)所示),或如果两个构件组成多个方向一致的移动副(图 1-20(b)、(c))时,只需考虑其中一处的约束,其余的均为虚约束。

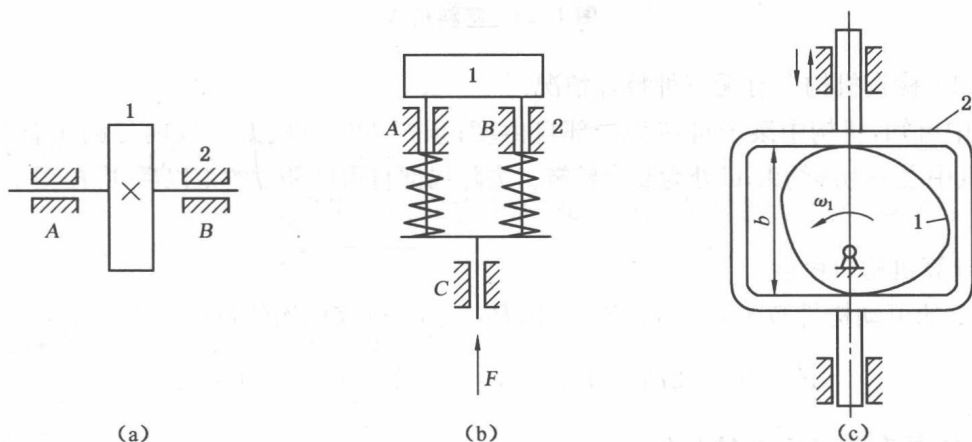


图 1-20 轴线重合或移动方向一致引入的虚约束

③ 机构中对运动不起作用的对称部分引入的约束为虚约束。

图 1-21 所示的行星轮系,从传递运动而言,只需要一个齿轮 2 即可满足传动要求,装上三个相同的行星轮的目的在于使机构的受力均匀,因此,其余两个行星轮引入的高副均为虚约束,应除去不计,该机构的自由度

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 2 = 1$$

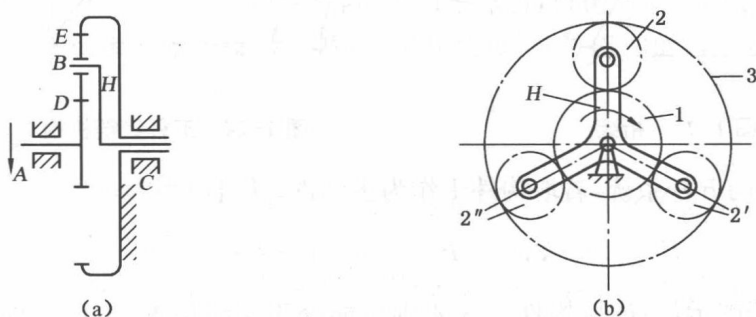


图 1-21 行星轮系

虚约束虽对机构运动不起约束作用,但能改善机构的受力情况,提高机构的刚性,因而在结构设计中被广泛采用。应注意的是,虚约束对机构的几何条件要求较高,故对制造、安装精度要求较高,当不能满足几何条件时,如图 1-19(c)所示,虚约束就会变成实约束而使机构不能运动。

**【例 2-5】** 计算图 1-22(a)所示的筛料机构的自由度。