

机械设计基础

万苏文 主编
王贵成 主审

重庆大学出版社

内 容 提 要

全书共 16 章,按 90 课时编写,全书按如下思路逐一地进行分析研究和编写:首先介绍了机械设计的基础知识,然后分析自由度与机构运动简图、平面连杆机构、凸轮机构、间隙运动机构、摩擦与润滑,再分析螺纹联接与螺旋传动、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、轴和轴毂联接、轴承、其他常用机械零部件等内容,最后简要地介绍了现代机械设计新方法,其中包括 CAD 的基础知识与应用举例,便于读者以后进一步学习与研究。

本书具有简明、实用、综合性强的特点。本书是高职高专机械、机电、数控、模具等类专业的技术基础课教材,也可以作为中等职业技术教育和社会培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/万苏文主编. —重庆:重庆大学出版社, 2005.8

高职高专汽车运用与维修专业、模具专业、数控专业
基础课教材

ISBN 7-5624-3433-6

. 机... . 万... . 机械设计—高等学校:技
术学校—教材 . TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 091557 号

机械设计基础

万苏文 主编

王贵成 主审

责任编辑:周立 版式设计:周立

责任校对:邹忌 责任印制:秦梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美彩色报刊印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:462 千

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5624-3433-6 定价:25.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究。

前言

目前我国的高等职业教育处于历史发展最好时期,高等职业教育为国民经济的发展作出了巨大的贡献。高职教育是培养直接在生产、管理、服务第一线从事技术应用、经营管理、高新技术设备的调试与应用的高级技术应用型人才。这类人才要求有较强的理论应用能力与实际动手能力,其知识的基本重点应在理论的应用与现代设备操作技能的培养上,而不能偏重理论推导与计算,应该偏重实践能力的培养而不是片面追求知识的系统性。因此随着我国的社会经济高速发展,如何编写能培养高职人才的教材已成为目前高职教育的当务之急。

为了适应这种形势发展的需求,编者根据教育部制定的《高职高专教育机械设计基础课程教学基本要求》(机械类专业适用),并结合编者多年从事教学、生产实践的经验编写了这本《机械设计基础》,它既适用于高职、高专人才的培养,也适用于中等职业技术教育。参考学时数为70~100学时。本《机械设计基础》教材有如下特点:

以培养技术应用性人才为目标,贯彻基本理论以“必需、够用”为度的原则,删减了理论性较强的内容,而突出了实用性强的教学内容。

文字表述力求通俗易懂,深入浅出,便于自学。

注意规范性要求,力求所有工程技术术语符合国家(国际)新标准。

与专业英语相结合,常用的名词有英文说明。

该书对传统学科型教材中各章、节进行了分离与综合,把相似、相关的内容并在一起,章节既独立又紧密联系,便于教学中取舍。

教材内容的编写按90课时计算(包括习题、实验课),全书中有关章节后设立“思考与练习题”,一方面可以深化教材内容,同时也可以加强应用理论知识解决实际问题能力的培养。

参加编写的有:刘进球老师(第3,13章)、卢志珍老师(第5,6,7章)、张香圃老师(第4,9,15章)、张彦明老师(第8,12,16章)、王军老师(第2章)万苏文老师(第1,10,11,14章)。

全书淮安信息职业技术学院由万苏文老师主编, 江苏大学博士生导师王贵成教授仔细地审阅了全部文稿和图稿, 提出了很多宝贵意见和建议, 在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 加上时间仓促, 缺点和错误在所难免, 恳请广大读者批评指正。

编 者

2005 年 4 月

第 1 章

机械设计概述

1.1 机械、机器、机构与零件

当今世界,随着科学技术的发展,人们越来越离不开各式各样的机器。如汽车、机床、电动机、内燃机、自行车、缝纫机、打印机等,机器已经深入到我们生活的方方面面。什么是机械?机器由哪些部分组成?如何设计出来的?机构与零件的关系如何?这些问题常常摆在我们的面前,因此学习一些机械知识,掌握一定的机械设计、运用、维护与修理方面的理论、方法和技能是十分必要的。

1.1.1 机械与机器

机构与机器统称为机械。

机器是一种用来变换或传递能量、物料和信息,能执行机械运动的装置。机器的种类繁多,机构型式和用途也各不相同,但它一般具有三个共同的特征:

都是一种人为的实物组合;

各部分形成运动单元,各单元之间具有确定的相对运动;

能实现能量的转换或完成有用的机械功。

同时具备上述三个特征的称为机器,仅具备前两个特征的称为机构。

另外,用功能分析的观点看机器,还可以认为机器是由动力部分(如牛头刨床中的电动机)、传动部分(如图 1.1 中的齿轮)、执行部分(如图 1.1 中的导杆机构)和控制部分所组成。

1.1.2 机构、部件、构件与零件

从运动的角度看,机器是由若干个运动的单元所组成,这种运动单元称为构件。构件可以是一个零件(如图 1.1 中的导杆 5),也可以是若干个零件的刚性组合体(如图 1.1 中,齿轮 1、轴 13、键 14 组合为一个构件)。在此,各构件之间也是有联系的,是靠运动副联系起来的。构件与构件直接接触所形成的可动联接称之为运动副。用运动副将若干个构件联接起来以传递运动和力的系统称之为机构,其中有一个相对静止的构件是机架。常用机构有齿轮机构、连杆

机构、凸轮机构等。用运动的观点看机器,可以认为一部机器就是若干个机构组合而成的,这就为机器的运动分析与设计带来了方便。

从制造的角度看,机器是由若干个零件装配而成的。零件是机器中不可拆卸的制造单元。可以将零件按其是否具有通用性分为两大类:一类是通用零件,另一类是专用零件。通用零件应用很广泛,几乎在任何一部机器中都能找到它,例如齿轮、轴、螺母、螺栓、垫圈、销钉等;专用零件仅用于某些机器中,常可表征该机器的特点,例如牛头刨床的滑枕(见图 1.1)、起重机的吊钩等。有时为了装配方便,先将一组组协同工作的零件分别装配或制造成一个个相对独立的组合体,然后再装配成整机,这种组合体常称之为部件(或组件),例如牛头刨床的刀架(见图 1.1),车床的主轴箱、尾座、滚动轴承等。将机器看成是由零部件组成的,不仅有利于装配,也有利于机器的设计、运输、安装和维修等。按零部件的主要功用可以将他们分为联接与紧固件、传动件、支承件等。在机器中,零件都不是孤立存在的,它们是通过联接、传动、支承等形式按一定的原理和结构联系在一起的,这样才能发挥出机器的整体功能。

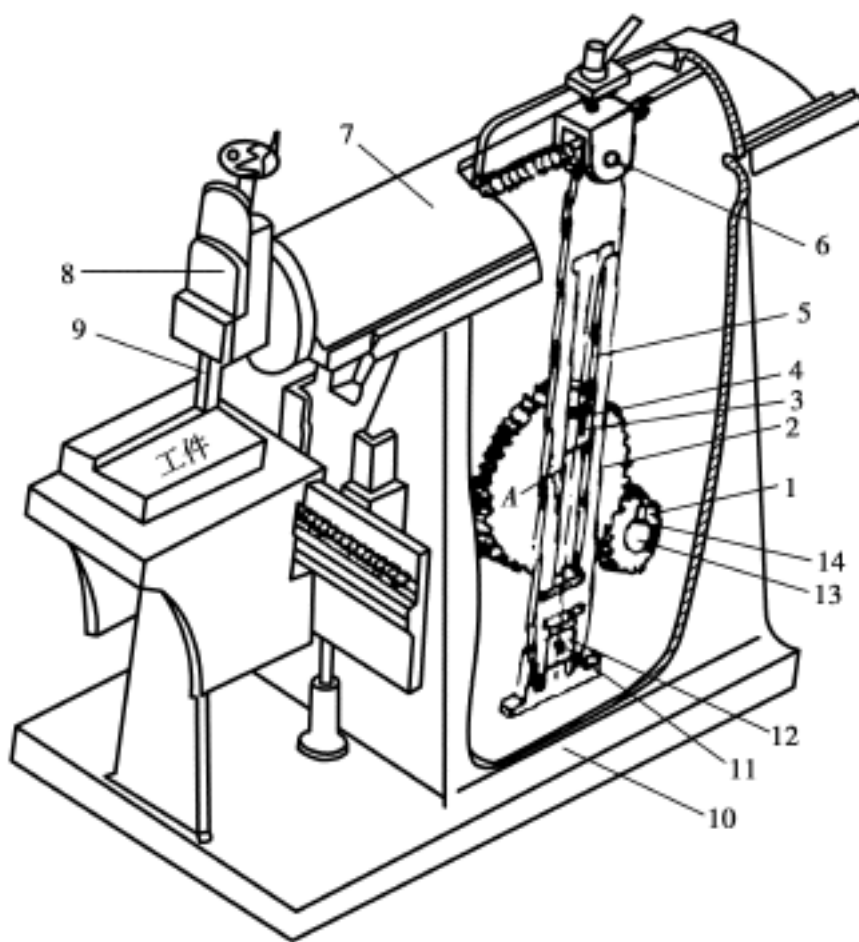


图 1.1 牛头刨床

- 1、2—齿轮;3、6、11—销钉;4—滑块;5—导杆;7—滑枕;8—刀架;
9—刨刀;10—床身;12—摇块;13—轴;14—键

机器的种类很多,其构造、性能和用途各不相同。如图 1.2 所示为单缸的冲程内燃机,它由汽缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、顶杆 8、齿轮 9 和齿轮 10 等组成。活塞的反复移动通过连杆 5 转变为曲轴 6 的连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀 3 和排气阀 4 的,三个齿轮保证进、排气阀和活塞之间形成一定节奏的动作。以上各部件的协同工作便能使燃气的热能转换为曲轴转动的机构能。因此,机器是执行机构运动的装置,用来完成有用的机械功或转换机械能。

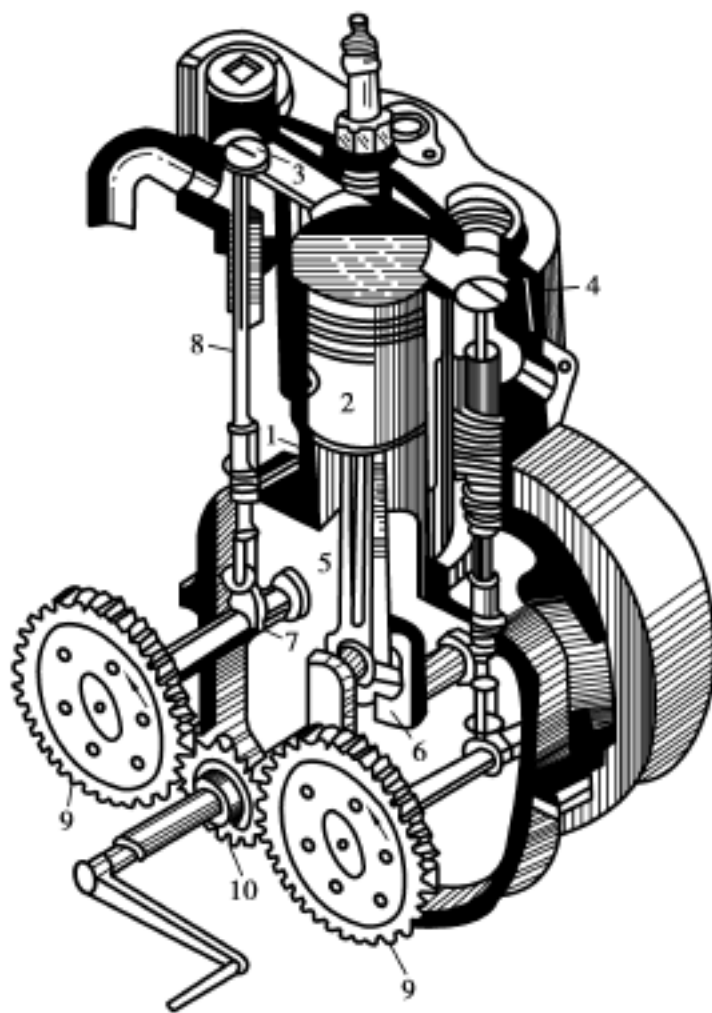


图 1.2 内燃机

1.2 机械设计的基本要求和设计程序

1.2.1 机械设计应满足的基本要求

机械设计是人们从生产和生活的实际需要出发,运用设计理论、方法和技能,经过构思、计算、绘图等过程,创造新机械的活动。机械设计可以是开发新产品,也可以是改造现有的机械。机械设计的基本要求一般有如下方面的要求。

1) 使用要求 使用要求是指机械在规定的工作期限内能实现预定的功能,并且操作方便、安全可靠、维护简单。

2) 经济性要求 经济性要求是指在设计、制造方面周期短、成本低;在使用方面效率高、能耗少、生产率高、维护与管理的费用少。

3) 工艺性要求 机械的工艺性要求是指在保证工作性能的前提下,尽量使机械的结构简单、好加工、易装配、修理方便。

4) 其他要求 机械设计除了要使机械达到以上要求以外,还要考虑其他方面。如设计新颖独特,符合人们求新、求异、求变化的心理特征;外观造型和色彩符合工业美学原则,具有时代感;尽量减少对环境的污染,特别是降低噪声;对于某些有特殊要求的机械,例如食品机械要考虑干净、卫生、易于清洗;设计飞行器要考虑重量轻、可靠性强等。

1.2.2 机械设计的一般程序

机械设计一般可分为 4 个阶段。

(1) 决策准备阶段

本阶段应根据市场信息(含预测)或用户要求确定设计任务。要在反复调查研究、分析、收集整理信息资料的基础上进行论证,明确机械的功能要求、使用条件等,做出决策。本阶段的成果表现为设计任务书。

(2) 总体方案设计阶段

明确了设计的任务后,还需要进一步确定机械的具体参数(性能指标、总体尺寸、重量、适用范围等),并进行总体方案设计。本阶段要解决的主要问题有:机械依靠什么原理完成任务,执行部分、动力部分、传动部分各采用什么方案,这三大部分如何联接、怎样布置,操纵控制它们的装置采用什么方案。总体设计方案的优劣对最后的设计结果影响最大,要反复推敲、科学论证、全面评价、寻求最优。本阶段的主要成果表现在机械示意图、工作原理图、机构运动简图、传动系统图和对它们的说明中。

(3) 技术设计阶段

本阶段就是要将总体方案具体化,主要包括机械的运动设计、动力计算、零部件的材料选择、结构设计和主要零部件的工作能力(主要是强度)计算、绘制各种图样等。此阶段的技术成果有总体设计草图、部件装配草图、零件工作图、部件装配图、总装配图、标准件明细表和有关的设计计算草稿等。

(4) 整理技术文档阶段

此阶段要编写设计计算说明书、使用说明书,还要整理图样,将全部图样装订成册,编写图样目录。

设计是否达到预期目的,是否正确合理,还要通过实践来检验。因此设计人员应该尽量参加产品的试制与鉴定,投产后还要经常了解销售和用户的使用情况,掌握反馈信息,及时发现问题,采取改进措施。

1.3 机械零件设计的标准化、系列化、通用化

标准化、系列化、通用化简称为“三化”。“三化”是我国现行的一项很重要的技术政策,在机械设计中要认真贯彻执行。

标准化是指将产品(特别是零部件)的质量、规格、性能、结构等方面的技术指标加以统一规定并作为标准来执行。我国的标准已经形成了一个庞大的体系,主要有国家标准、行业标准等。为了与国际接轨,我国的某些标准正在迅速向国际标准靠拢。常见的标准代号有 GB、JB、ISO 等等,它们分别代表中华人民共和国国家标准、机械工业标准、国际标准化组织标准。

系列化是指对同一产品,在同一基本结构或基本条件下规定出若干不同的尺寸系列。

通用化是指在不同种类的产品或不同规格的同类产品中尽量采用同一结构和尺寸的零部件。

贯彻“三化”的好处主要是:减轻了设计工作量,有利于提高设计质量并缩短生产周期;减

少了刀具和量具的规格,便于设计与制造,从而降低其成本;便于组织标准件的规模化、专门化生产,易于保证产品质量、节约材料、降低成本;提高了互换性,便于维修;便于国家的宏观管理与调控以及内、外贸易;便于评价产品质量,解决经济纠纷等。

1.4 本课程的性质、内容和基本要求

本课程是一门重要的专业基础课,综合应用各先修课程的基础理论和生产知识,解决常用机构及通用零部件的分析和设计问题。课程的任务是培养学生掌握通用零部件和常用机械传动(含机构)的基本知识、基本理论和基本技能,使他们初步具有分析、设计、运用和维护机械传动装置的能力,为他们解决机械方面的实际问题和继续学习打下基础。为此,本课程有16章内容,安排了常用机构的基本原理与应用、机械联接的原理与应用、机械传动和支承零部件的设计与维护、润滑与密封、计算机辅助设计等方面的教学内容。

通过本课程的教学,学生应达到以下基本要求。

熟悉通用零部件和常用机械传动(含机构)的工作原理、结构、特点及应用。

掌握通用零部件和常用机械传动(含机构)的选用和基本设计方法,初步具有设计简单机械传动装置的能力。

初步具有运用和维护机械传动装置的能力。

初步具有测绘、装拆、调整、检测一般机械装置的技能。

初步具有分析和处理机械中一般问题的能力。

具有与本课程有关的解题、运算、绘图、执行国家标准、收集和使用技术信息与资料的技能。

总之,本课程是理论性和实践性都很强的机械类及近机类专业的主干课程之一,在教学中具有承上启下的作用,是机械工程师及工程技术人员必修课程。

思考与练习题

- 1.1 机械与机器、机构与零件的区别是什么?
- 1.2 机械设计应满足哪些基本要求?
- 1.3 机械设计一般可分为哪4个阶段?
- 1.4 何为“三化”,标准化的重要意义是什么?

第 2 章

机构的自由度与机构运动简图

机构是由具有确定的相对运动的构件组成的。当所有组成构件在同一平面内或在平行平面内运动,则为平面机构,否则为空间机构。本章讨论的是平面机构。

平面机构结构分析的目的在于分析机构运动的可能性以及运动确定的条件。通过本章的学习,要求掌握运动副的概念、正确绘制机构运动简图的方法以及平面机构自由度的计算方法。

2.1 机构的组成

2.1.1 运动副的概念

如上所述,机构是由许多构件组合而成的。两构件直接接触并保持一定的相对运动,则此两构件之间的这种可动联接称为运动副。构件之间的接触不外乎点、线、面三种,这些参与接触而构成运动副的点、线、面称为运动副元素。

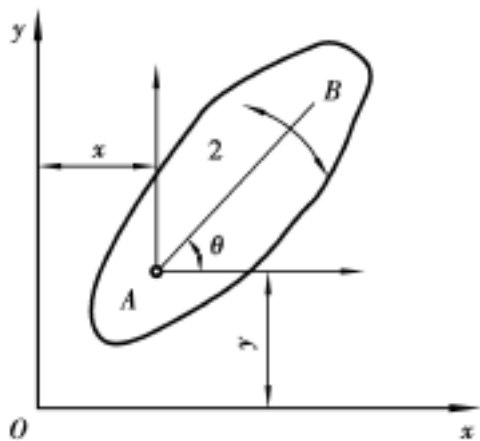


图 2.1 自由度

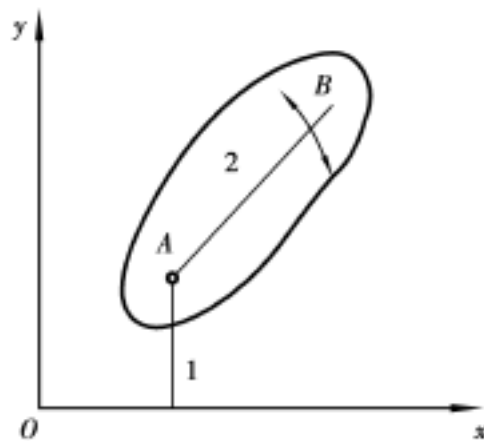


图 2.2 受约束构件

2.1.2 自由度与约束条件

构件做平面运动时,其运动可分解为三个独立运动,沿 x 轴的移动、沿 y 轴的移动和绕垂直于 xOy 平面轴的转动(图 2.1)。把构件所具有的独立运动的数目称为自由度。

当构件间用运动副相联之后,构件的运动则受到限制,自由度便随之减少(图 2.2)。对构件某一个独立运动的限制称为约束条件。故每加上一个约束条件,构件便失去一个自由度。因此,运动副对构件相对运动所产生的作用是:在两构件间施加约束,减少与约束条件数量相等的自由度;限制两构件间相对运动的形式。

显然,两构件间所受约束条件的多少和约束特性,完全取决于运动副的类型。

2.1.3 运动副的分类

根据构件的接触方式,运动副分为高副和低副两大类。

(1) 低副

两构件以面接触而组成的运动副称为低副。组成低副时引入的约束条件为 2,故构件失去的自由度亦为 2,低副按允许相对运动的形式不同又可分为:

1) 转动副 组成运动副的两构件只能在一个平面内作相对转动,这种运动副称为转动副,或称铰链(图 2.3)。若其中一个构件固定,则称为固定铰链,若两个构件均不固定,则称为活动铰链。

2) 移动副 组成运动副的两构件只能沿轴线相对移动,这种运动副称为移动副(图 2.4)。这类运动副由于是面接触,在承受载荷时压强较低,不易磨损。

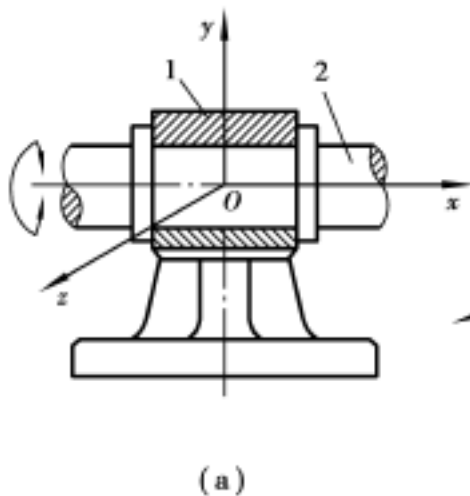


图 2.3 转动副

(a) 固定铰链 (b) 活动铰链

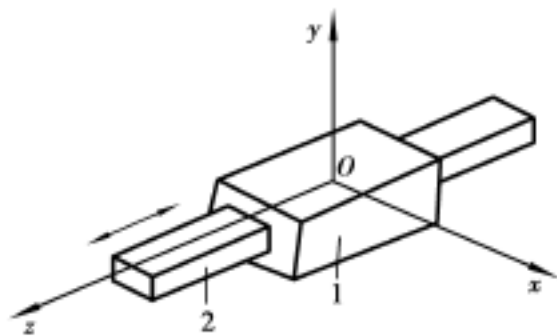


图 2.4 移动副

(2) 高副

两构件以点或线接触而组成的运动副称为高副,如图 2.5 所示。构件 2 可以相对于构件 1 绕接触点 A 转动,又可以沿接触点的切线 $t-t$ 方向移动,只是沿公法线 $n-n$ 方向的运动受到限制。可见组成高副时引入的约束条件为 1,即失去的自由度亦为 1。高副由于以点或线相接触,其接触部分压强较高,故易磨损。

约束一个相对转动而保留两个独立相对移动的运动副是不可能存在的。因为只要两构件一旦直接接触,沿接触点公法线相对移动的可能性即被取消(如图 2.5 所示,构件 2 沿 $n-n$ 向



图 2.5 平面高副

(a) 线接触 (b) 点接触

下运动将受到构件 1 的限制。如沿 $n-n$ 向上运动, 则两构件将脱离接触而不再成为运动副了)。因此, 从相对运动来看, 平面运动副不外乎上述几种型式。

由此可见, 在平面机构中, 具有两个约束的运动副(转动副和移动副)都是面接触; 具有一个约束的运动副都是点或线接触。也就是说, 在平面机构中, 平面低副具有两个约束, 平面高副具有一个约束。

2.2 平面机构运动简图

2.2.1 绘制机构运动简图的目的

事物都有它的现象和本质, 现象是指事物的外部形态, 本质是指事物的内在联系。绘制机构运动简图的目的在于: 撇开那些与机构运动无关的外部形态, 而把决定机构运动性质的内在联系抽象出来, 以便揭示机构的运动规律和特性。

实际的机器或机构比较复杂, 构件的外形和构造也各种各样。但是机构的相对运动只与运动副的数目、类型、相对位置及某些尺寸有关, 而与构件的截面尺寸、组成构件的零件数目、运动副的具体结构等无关。因此在研究机器或机构运动时可以不考虑与运动无关的因素, 而用线条表示构件, 用简单符号表示运动副的类型, 按一定比例确定运动副的相对位置及与运动有关的尺寸, 这种简明表示机构各构件运动关系的图形就叫做机构运动简图。

对于只为了表示机构的结构及运动情况, 而不严格按照比例绘制的简图, 通常称为机构示意图。

机构中的固定构件称为机架, 它的作用是支承运动构件。由外界给定运动规律的构件称为主动件, 一般主动件与机架相连。除主动件以外的全部活动构件都称为从动件。在机构运动简图中, 构件和运动副的表示符号见表 2.1。

2.2.2 平面机构运动简图的绘制

绘制平面机构运动简图通常可按以下步骤进行:

表 2.1 机构运动简图符号

名 称		简图符号	名 称		简图符号
构 件	轴, 杆		机 架	基本符号	
	三副元素构件			机架是转动副的一部分	
				机架是移动副的一部分	
构件的永久联接		平 面 高 副	齿轮副外啮合		
转动副			内啮合		
	移动副			凸轮副	
平 面 低 副	转动副				
	移动副				

- 1) 分析机构的结构和运动传递情况, 找出固定件(机架)、原动件和从动件。
- 2) 从原动件开始, 按照传动路线仔细分析各构件间的相对运动性质和接触情况, 确定构件数目和运动副的类型及数目。
- 3) 选择视图平面, 一般选择与构件运动平面相平行的平面作为视图平面。
- 4) 根据机构的实际尺寸和图纸大小确定适当的长度比例尺 μ

$$\mu = \text{实际长度}(\text{m}) / \text{图示长度}(\text{mm})$$

按照各运动副间的距离和相对位置, 以规定的符号将各运动副表示出来。图中各运动副标以大写的英文字母, 各构件标以阿拉伯数字, 并将机构的原动件用箭头标明。

5) 用直线或曲线将同一构件上的运动副联接起来, 即为所要画的机构运动简图。

例 2.1 图 2.6(a) 所示为牛头刨床的结构图, 已知 $L_h = 1\ 000\ \text{mm}$, $L_{h1} = 540\ \text{mm}$, $L_{AB} = 240\ \text{mm}$, 试绘制该牛头刨床主机机构的机构运动简图。

解题分析 牛头刨床主机机构是指由大齿轮 1、机架 2、导杆 3、滑块 4、摇块 5、刨头 6 所组成的机构。

解:

1) 此机构由 5 个活动构件和机架组成。大齿轮 1 为原动件, 导杆 3、滑块 4、摇块 5、刨头 6 为从动件, 床身 2 为固定件(机架)。

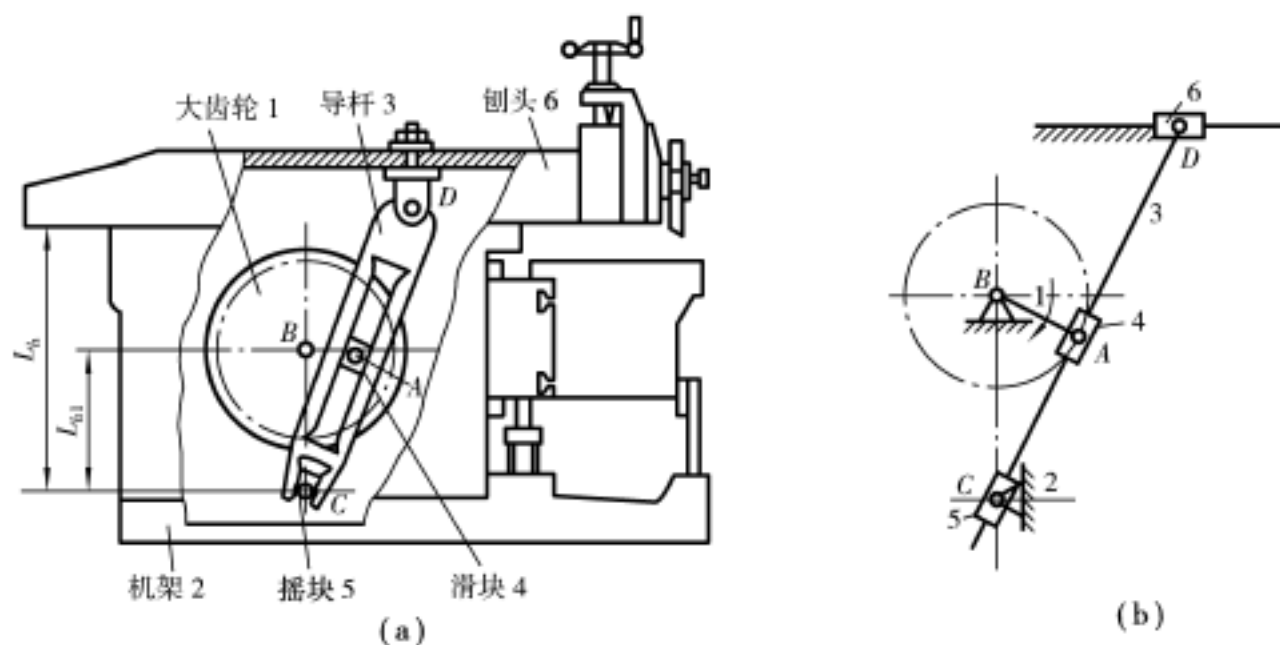


图 2.6 牛头刨床结构图及主机构运动简图

(a) 结构图 (b) 机构运动简图

2) 大齿轮 1 与机架 2、滑块 4 分别组成转动副, 这两个转动副的中心 A、B 的距离在运动中不变, 可以看做一个定长的构件。导杆 3 与滑块 4、摇块 5 分别组成移动副, 而与刨头 6 组成转动副。刨头 6 相当于一个滑块, 与机架 2 组成移动副。摇块 5 与机架 2 组成转动副。

3) 选择与机构运动平面相平行的平面作为视图平面。

4) 取长度比例尺 $\mu = 0.02 \text{ m/mm}$, 按已知实际长度求图示长度

$$h = L_h / \mu = 1 / 0.02 = 50 \text{ mm}$$

$$h_1 = L_{h1} / \mu = 0.54 / 0.02 = 27 \text{ mm}$$

$$AB = L_{AB} / \mu = 0.24 / 0.02 = 12 \text{ mm}$$

定出与机架 2 相联的转动副中心 B、C 以及导杆 3 的位置, 选原动件的适当位置(使图面清晰, 避免构件交叉) 定出其他转动副中心。

5) 用简图符号画出各转动副、移动副和机架, 把同一构件上的运动副用直线联接起来, 各转动副中心标以大写英文字母 A、B、..., 将各构件编号并用数字 1、2、... 标明, 原动件上用箭头表示其运动规律为已知, 图上注明比例尺, 即得图 2.6(b) 所示的机构运动简图。

例 2.2 图 2.7(a) 所示冲压机构中, 1 为偏心轮、2 为可绕转动中心 C 摆动的连杆、3 为冲头。试绘制该机构的机构示意图。

解题分析 此机构由偏心轮 1、连杆 2、冲头 3 和机架 4 组成, 共有 3 个活动构件, 偏心轮 1 由其他机构带动绕回转中心 A 转动。由于偏心轮的回转中心 A 与几何中心 B 有一偏距, 所以偏心轮每转一周, 则通过活套在偏心轮上的连杆 2 和带动冲头 3 上、下往复运动一次进行冲压工作。偏心轮的几何中心 B 与回转中心 A 和连杆的摆动中心 C 之间的距离在运动中不变, 故都可以看做定长的构件。

解:

1) 偏心轮 1 为原动件, 连杆 2、冲头 3 为从动件, 构件 4 为机架。

2) 偏心轮 1 与机架 4、连杆 2 分别组成转动副, 连杆 2 与冲头 3 组成转动副, 冲头 3 相当于滑块, 与机架 4 组成移动副, 且导路的中心线通过 AC。

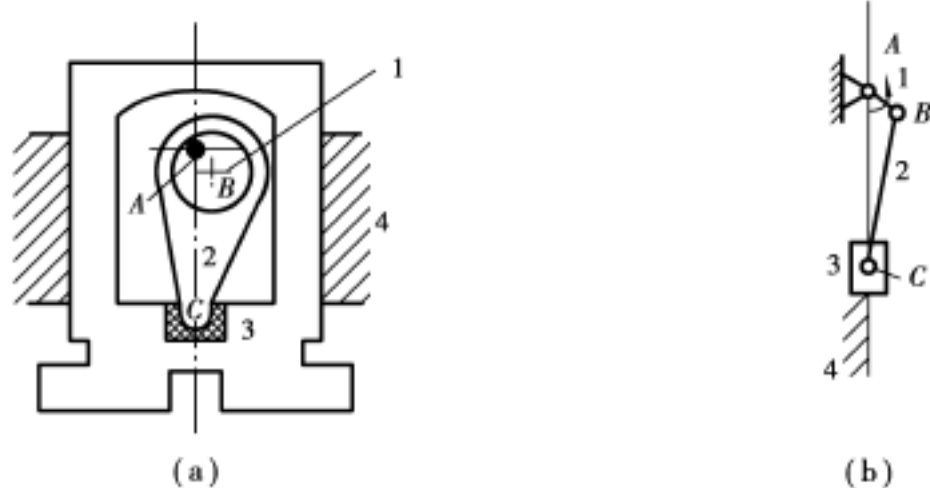


图 2.7 冲压机构

(a) 结构图 (b) 机构示意图

3) 选择原动件的适当位置,画出各转动副、移动副以及机架,把同一构件上的运动副用直线联接起来。标注字母与构件号,并在原动件上标注箭头,图 2.7(b) 即为该机构的机构示意图。

2.3 平面机构的自由度

为了使机构具有确定的相对运动,必须探讨机构的自由度和机构具有确定运动的条件。

2.3.1 平面机构自由度的计算

我们已经知道,每个做平面运动的构件,在自由状态时都具有三个自由度。它们之间每组成一个低副时,就引入两个约束条件,失去两个自由度;每组成一个高副时,就引入一个约束条件,失去一个自由度。所以,平面机构的自由度应为:全体活动构件在自由状态时,自由度的总数与全部运动副所引入的约束条件总数之差。设以 F 表示平面机构的自由度数, n 表示机构的的活动构件数,机构中共有低副的个数为 P_L ,高副的个数为 P_H ,则平面机构自由度的计算公式为:

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (2.1)$$

由式(2.1)可知,机构自由度数取决于活动构件数目以及各构件间运动副的类型和数目。

如图 2.6 所示的牛头刨床主机构,它的活动构件 $n = 5$,共组成 7 个低副,即 $P_L = 7$ 。没有高副,即 $P_H = 0$ 。故该机构的自由度由式(2.1)得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

如图 2.7 所示的冲压机构,它的活动构件数 $n = 3$,低副数 $P_L = 4$,高副数 $P_H = 0$,其自由度为

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

2.3.2 机构具有确定运动的条件

机构是具有确定的相对运动的构件系统,但不是任何构件系统都能实现确定的相对运动的,因此也就不是任何构件系统都能成为机构的。构件系统能否成为机构,可以用是否具有确

定运动的条件来判别。

机构的自由度数是机构具有的独立运动数,例如机构的自由度为 1,则表示机构只有 1 个独立运动。如果通过 1 个原动件,并给定 1 个运动规律对此独立运动加以控制,则该机构的运动就完全确定了。一般 1 个原动件只能给定 1 个运动规律,所以机构若有 2 个自由度,则需要 2 个原动件。由此可知,机构具有确定运动的条件是:机构的原动件个数应与其自由度相等。

如图 2.8 所示的四构件系统, $n=3, P_L=4, P_H=0$, 其自由度为

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

当原动件 1 在任何瞬时位置时,从动件 2 和 3 都占有相应的确定位置,这说明从动件的运动是确定的,故该构件系统是机构。

如给定两个原动件 1 和 3,势必将该机构破坏。

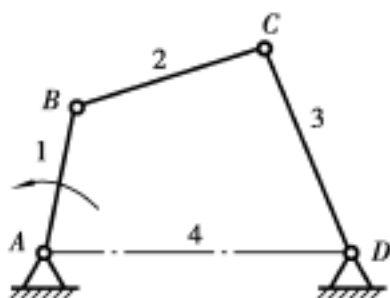


图 2.8 四构件系统

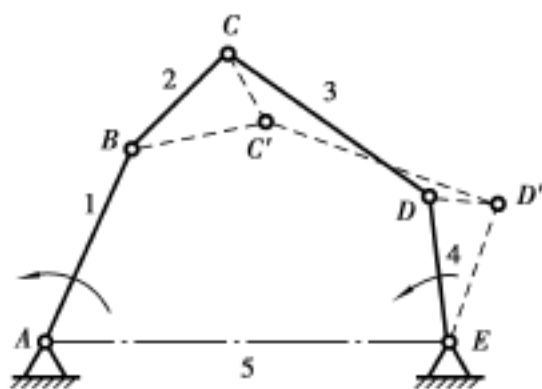


图 2.9 五构件系统

如图 2.9 所示的五构件系统, $n=4, P_L=5, P_H=0$, 其自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$$

设只有构件 1 为原动件,当构件 1 在图示瞬时位置时,则构件 2, 3 和 4 可以占有 BC, CD, DE 位置,也可以占有 BC, CD, DE 位置或其他位置。这说明从动件的运动不是确定的,故该构件系统就不是机构。若构件 4 也是原动件,而该瞬时它在 DE 位置,则构件 2, 3 的位置完全确定,此构件系统就成为机构,它的运动是确定的。

2.3.3 计算平面机构自由度的注意事项

应用式(2.1)计算平面机构自由度时,对下述几种特殊情况必须加以注意。

(1) 复合铰链

在同一轴线上有两个以上的构件用转动副相联接构成复合铰链,如图 2.10(a)所示三个构件汇交成的复合铰链,图 2.10(b)是它的俯视图。由该图可以看出,这三个构件共组成两个转动副。依此类推, k 个构件汇交而组成的复合铰链应具有 $(k-1)$ 个转动副。在计算机构自由度时应注意识别复合铰链,以免把转动副的个数算错。

例 2.3 计算图 2.11(a)所示振动式输送机的自由度。

解:在该机构中,原动件 2 绕 A 轴转动,通过相互铰接的活动构件 3、4、5 带动滑块 6 做往复移动。

C 处即为 3、4、5 三个构件汇交成的复合铰链,包括了两个轴线重合的转动副(图 2.11(b)),故此机构应有 6 个转动副,1 个移动副,即 $P_L=7$, 而 $P_H=0, n=5$, 由式(2.1)可得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$$

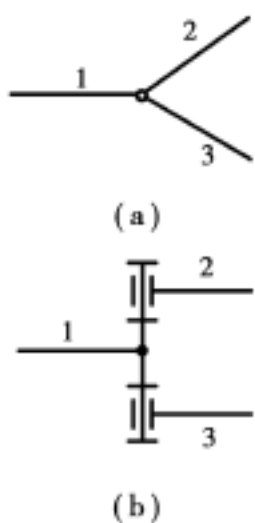
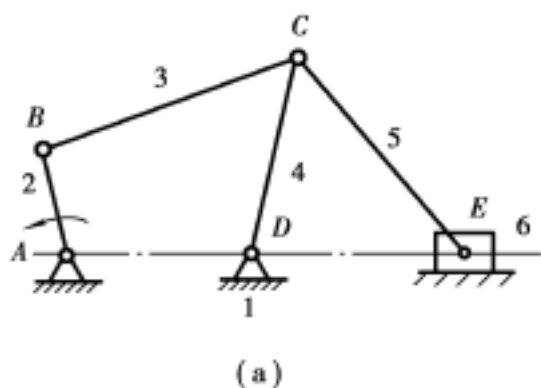
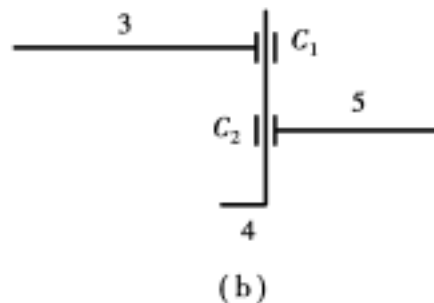


图 2.10 复合铰链



(a)



(b)

图 2.11 振动式输送机
(a) 运动简图 (b) 复合铰链

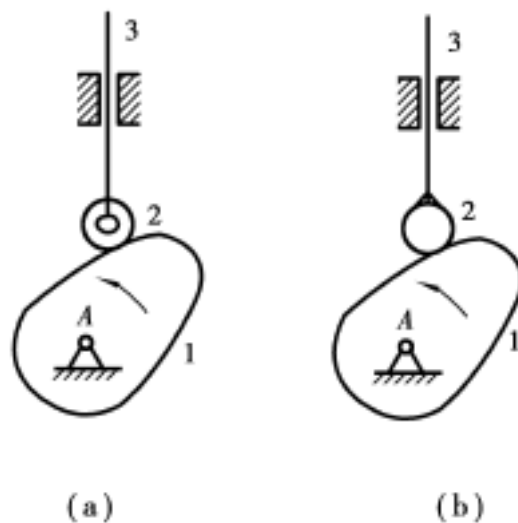
F 与机构原动件数相等, 当原动件 2 转动时, 滑块 5 将沿直线 ADE 做往复移动。

(2) 局部自由度

如图 2.12 所示的凸轮机构, 为了减少高副处的摩擦, 常在从动件 3 上装一滚子 2。当原动凸轮 1 绕固定轴 A 转动时, 从动件 3 则在导路中上下往复运动, 但在计算自由度时, 如果按 $n = 3, P_L = 3, P_H = 1$, 则

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

实际上此机构的自由度为 1。计算结果与实际不符, 其原因在于小滚子 2 绕轴转动的快慢或不转, 见图 2.12(b) 所示, 都不影响整个机构的运动。这种与机构运动无关的构件的自由度称为局部自由度。在计算机



(a)

(b)

图 2.12 凸轮机构

构自由度时, 这种构件应除去不计。于是 $n = 2, P_L = 2, P_H = 1$, 该机构的自由度为

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

局部自由度虽然不影响整个机构运动, 但滚子可使高副接触处的滑动摩擦变成滚动摩擦, 减轻磨损, 所以, 实际机构中常有局部自由度出现。

(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是重复的。这些对机构运动不起限制作用的重复约束称为虚约束, 在计算机构自由度时应当除去不计。

平面机构中的虚约束常出现在下列场合。

1) 两个构件之间组成多个轴线重合的转动副时, 只有一个转动副起作用, 其余都是虚约束。如图 2.13 所示内燃机中, 固定于汽缸 1 上的两个轴承都是限制曲轴 4 只能绕其轴线转动, 从运动观点来看, 去掉一个轴承并不影响曲轴的转动, 故曲轴与汽缸之间只能认为是组成一个转动副。

2) 两个构件之间组成多个导路平行的移动副时, 只有一个移动副起作用, 其余都是虚约束。如图 2.13 中顶杆 8 与汽缸 1 之间组成的两个移动副, 其中之一为虚约束, 因为去掉一个支承并不影响顶杆的移动。