



全国高等职业教育示范专业规划教材

机械设计与制造专业

机械设计基础

崔学红 梁宝英 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是依据教育部“十二五”规划教材的编写要求和全国高职高专专业教学指导委员会关于“机械设计基础”课程的基本要求的精神进行编写的。本书突出高等职业教育的特点,对机械设计各个知识点作了全面的简单陈述,不要求精深,让学生能够掌握并学会使用是本书的基本要求和编写的宗旨。

本书力求概念把握准确,叙述尽量简单易懂,特别是对基本理论及相关公式推导作了适当的简化,做到以技能培养为主,会比较,会选择,会应用,从而提高学生的职业技能。

本书除绪论外共分为14章,内容包括:平面机构、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、蜗杆传动、轮系、带传动、链传动、其他常用机构、联接、轴、轴承、机械的平衡与调整、机械传动总论,各章配有一定数量的思考题与习题,供学习时选用。

本书适用对象为高等职业院校、高等专科院校、成人高校及应用型同等层次的机械设计与制造专业学生,以及工科类专业学生。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/崔学红,梁宝英主编. —北京:机械工业出版社,2009.8

全国高等职业教育示范专业规划教材. 机械设计与制造专业

ISBN 978-7-111-28341-6

I. 机… II. ①崔…②梁… 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(2009)第166708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:王德艳 版式设计:霍永明

封面设计:鞠杨 责任校对:张莉娟 责任印制:乔宇

北京京丰印刷厂印刷

2010年1月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·16印张·395千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-28341-6

定价:27.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来,我国的高等职业教育迅猛发展,促进了职业教育事业质的飞跃,鉴于高职高专的“机械设计基础”课程已成为一门应用型技术基础课,其重点在于培养学生的认知能力、应用能力以及创新能力,因此,本书在编写中特别强调以理论结合实际来讲述各个知识点,并吸取了各个兄弟院校的教学成功经验,是专业课学习和从事机电类技术工作的基础教材。

本书的特点是:

1. 突出应用性,使教材内容更贴近工程实践,例如根据实际应用,增加了常用齿轮传动类型选择的知识介绍。
2. 本书内容简明、实用,必备知识点全。书中简化了各个计算公式的繁琐推导,更多的是让学生真正理解公式的使用方法。
3. 本书所采用的计算方法尽量与现有设计规范和标准相同,例如齿轮强度计算中系数的选取等。

本书由崔学红、梁宝英任主编,孙余一、罗建华任副主编,昆明冶金高等专科学校韩宏老师任主审。参加本书编写的有:山西大同大学工学院梁宝英(第二、七、十一、十二章),上海电子信息职业技术学院罗建华(第三、六、九章),昆明冶金高等专科学校崔学红(第十、十四章)、陈俊(第八章)、曾谢华(第五章)、赵亚芳(第一章),孙余一(绪论、第四、十三章)。

在整书编写过程中得到了山西大同大学工学院、上海电子信息职业技术学院的热诚支持,对本书的编写提出了很多有益的建议,编者对此表示由衷的感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请使用本书的教师和读者给予批评和指正。

编 者

目 录

前言

绪论 1

- 0.1 机器的组成 1
- 0.2 本课程在教学中的地位 1
- 0.3 本课程的内容、性质和任务 2
- 0.4 学习方法 2

第1章 平面机构 4

- 1.1 概述 4
- 1.2 平面机构的组成 4
- 1.3 平面机构的运动简图 6
- 1.4 平面机构的自由度 8
- 1.5 思考题与习题 12

第2章 平面连杆机构 14

- 2.1 概述 14
- 2.2 平面四杆机构的基本类型及其演化 14
- 2.3 平面四杆机构的设计 23
- 2.4 思考题与习题 27

第3章 凸轮机构 31

- 3.1 概述 31
- 3.2 凸轮机构中从动件常用的运动规律 32
- 3.3 凸轮机构基本尺寸的确定 36
- 3.4 图解法设计凸轮轮廓曲线* 38
- 3.5 解析法设计凸轮轮廓曲线* 40
- 3.6 思考题与习题 42

第4章 齿轮传动 43

- 4.1 概述 43
- 4.2 渐开线齿廓及其啮合原理 44
- 4.3 标准直齿渐开线圆柱齿轮 46
- 4.4 渐开线齿轮啮合传动 48
- 4.5 渐开线齿轮的切削加工 50
- 4.6 平行轴斜齿圆柱齿轮传动 53
- 4.7 直齿锥齿轮传动 56
- 4.8 齿轮传动分析 59
- 4.9 齿轮结构设计及齿轮传动润滑 73
- 4.10 常用齿轮传动类型的选择 74
- 4.11 思考题与习题 76

第5章 蜗杆传动 78

- 5.1 概述 78
- 5.2 蜗杆传动机构的类型和特点 78
- 5.3 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算 80
- 5.4 蜗杆传动的失效形式和计算准则 84
- 5.5 蜗杆传动材质和结构的选择 85
- 5.6 蜗杆传动的受力分析和强度计算 86
- 5.7 蜗杆传动效率、润滑及热平衡计算 90
- 5.8 蜗杆传动的设计* 92
- 5.9 思考题与习题 94

第6章 轮系 96

- 6.1 概述 96
- 6.2 定轴轮系的传动比计算 96
- 6.3 周转轮系的传动比计算 98
- 6.4 混合轮系的传动比计算 100
- 6.5 轮系的应用 101
- 6.6 其他轮系传动装置简介 105
- 6.7 思考题与习题 108

第7章 带传动 110

- 7.1 概述 110
- 7.2 V带和V带轮 111
- 7.3 带传动工作能力分析 115
- 7.4 V带传动的设计 118
- 7.5 V带传动的安装、维护和张紧 124
- 7.6 其他带传动简介 126
- 7.7 思考题与习题 127

第8章 链传动 129

- 8.1 概述 129
- 8.2 滚子链和链轮 130
- 8.3 链传动的运动特性 134
- 8.4 链传动的设计计算 137
- 8.5 链传动的布置、张紧及润滑 143
- 8.6 思考题与习题 146

第9章 其他常用机构 147

- 9.1 概述 147
- 9.2 棘轮机构 147
- 9.3 槽轮机构 151

9.4 不完全齿轮机构	153	12.2 滚动轴承	206
9.5 螺旋传动	155	12.3 滚动轴承失效形式	211
9.6 凸轮式间歇运动机构	159	12.4 滚动轴承的合理选用	212
9.7 思考题与习题	160	12.5 滚动轴承的组合设计	221
第10章 联接	161	12.6 滑动轴承	227
10.1 概述	161	12.7 思考题与习题	233
10.2 螺纹联接	161	第13章 机械的平衡与调整	235
10.3 键联结	174	13.1 概述	235
10.4 销联接	179	13.2 刚性回转件的静平衡	235
10.5 联轴器联接	180	13.3 刚性回转件的动平衡	237
10.6 离合器联接	184	13.4 机器的速度波动及调整	239
10.7 弹簧	187	13.5 思考题与习题	241
10.8 思考题与习题	191	第14章 机械传动总论	243
第11章 轴	193	14.1 概述	243
11.1 概述	193	14.2 机械传动系统的功用	243
11.2 轴的结构设计	195	14.3 各种传动机构的比较与选用原则	246
11.3 轴的计算	199	14.4 机械传动的运动和动力的计算	248
11.4 思考题与习题	204	14.5 思考题与习题	249
第12章 轴承	206	参考文献	250
12.1 概述	206		

绪 论

0.1 机器的组成

机械是机器和机构的总称，在机械系统中，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、内燃机等；利用机械能转换或传递能量的机器称为工作机，如起重机、各种输送机、金属切削机床等。

机器一般包含四个基本组成部分：动力部分、传动部分、控制部分和执行部分。动力部分可采用电力、液压、热力、风力作为动力源。传动部分和执行部分主要由各种机构组成，是机器的主体。控制部分主要包括各种控制机构、电气装置、计算机、液压和气压控制系统等。

机器组成中不能再拆的基本单元叫机械零件，或简称零件，如螺栓、齿轮、轴、弹簧等按国家标准或行业标准生产的，称为标准件或通用零件；而顶杆、连杆、活塞、曲轴等由于其使用的专一性，又称专用零件。组成机械的各个相对运动的实物称为构件，构件可以是单一的零件，也可以是多个零件的刚性组合体。由多个构件以一定方式组成并具有确定相对运动的构件系统称为机构，如：两个齿轮构件相互啮合，各自具有确定的相对运动，传递运动和力，称为齿轮机构。机器中常用的机构有连杆机构、凸轮机构、轮系、蜗杆机构等。机构中固定不动的构件称为机架。

如图 0-1 单缸内燃机中的齿轮机构，将曲轴的转动传递给凸轮轴，而凸轮机构则将凸轮轴的转动变换为顶杆的直线往复运动，保证了进、排气阀有规律的启闭。由此可见，机器是由机构组成的，但从运动观点来看两者并无差别，工程上统称为机械。

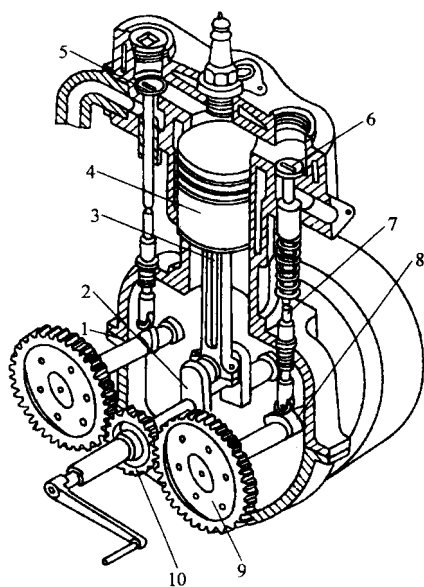


图 0-1 单缸内燃机

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

0.2 本课程在教学中的地位

除机械制造部门外，在冶金、采矿、石油、化工、建筑、轻纺、生物、食品等行业中工作的生产人员，接触更多的是各种类型的通用和专用机械设备，随着行业的发展，机械设备的更新速度加快，这将对操作和维修人员的素质提出了更高的要求，因此，这些人员必须具备一定的基础知识。机械设计基础与机械制图、电工电子基础、工程力学等课程都是高等职

业院校近机械类、非机械类专业的重要技术基础课,它们为学生在学习专业机械设备课程时奠定了必要的理论基础,使他们能够理解各种机械传动原理,帮助他们获得机械设备的正确使用和维护以及设备故障分析等方面的必要知识。

0.3 本课程的内容、性质和任务

1. 本课程的主要内容

本课程主要内容包括以下几个方面:

- 1) 常用机构的组成原理、运动分析、设计计算。
- 2) 通用零件的强度、刚度、寿命、结构及设计计算,包括零件的材料选择、工作情况分析、失效分析、设计准则的确定、润滑、密封方法与装置的选择和设计计算。
- 3) 简单机械运动方案设计的初步知识。
- 4) 整机机构设计的基本要求、方法和一般步骤。

2. 本课程的性质和任务

机械设计基础是一门机械类各专业必修的设计性课程,是介于基础课与专业课之间的一门主干技术基础课,起到了承上启下的作用,一方面它以高等数学、机械制图、工程力学、工程材料、机械制造基础等课程为基础,另一方面又为以后学习有关专业课程以及掌握新的机械科学技术打下必要的理论基础。

当前,机械产品和设备发展的方向是提高性能、多功能、高质量、讲求造型艺术化及大型配套化,并竭力推进高新技术化、系统集成化及智能化等。机械设计基础课程的任务是通过课堂教学、习题、课程设计和实验等教学环节,使学生掌握机械设计的基本理论、基本知识和基本技能,具备分析和设计通用零件、常用机构和简单机器的基本能力,具有初步确定机械运动方案的能力。通过本课程的教学,增强学生对机械技术工作的适应性并提高其开发创新能力。本课程将为培养机械类高级应用型工程技术人才打下重要的基础。

0.4 学习方法

本课程是从理论性、系统性很强的基础课向实践性较强的专业课过渡的一个重要环节,课程的实用性较强,因此,学习本课程必须在学习方法上有所转变和适应,现将学习中应该注意的几个问题介绍如下:

1) 本课程将多门先修课程的基本理论应用到实际中去,解决有关实际问题,因此,在学习本课程的过程中要更加注意理论联系实际,注意将所学知识用于实践。同时,在学习本课程知识的过程中,应加强能力的培养,这样就可以用自己的能力去获得新的知识。

2) 学生刚接触到本课程时,会产生系统性差、逻辑性差等错觉,这是由于学生习惯了基础课程的系统性和逻辑性所造成的。在本课程中,虽然不同研究对象所涉及的理论基础不相同,且相互之间也无太大的联系,但最终的目的只有一个,既设计出适用的机构、零部件等。本课程的主要设计内容都是按照工作原理、结构、强度计算、使用维护等的顺序来介绍的,有其自身的系统性,在学习时应注意这一特点。

3) 由于工程问题的复杂性,很难用纯理论的方法来解决,因此,在实际设计工作中往

往还要借助类比、实验等经验性的设计手段，或者使用经验公式和由试验提供的设计数据等，这一点应该在学习过程中逐步适应。本课程是联系实际相对较紧的设计性课程，所以计算步骤和计算结果不像数学课那样具有唯一性。

4) 理论计算对解决设计问题是很重要的，但不是唯一的。必须逐步培养把理论计算和结构设计、工艺设计等结合起来解决设计问题的能力，尤其应重视结构设计在确定零件形状和尺寸方面的重要作用。

5) 在本课程的学习中，必须注意培养和建立整机设计的概念，从产品开发设计的高度来对待机械零部件的设计问题，要结合产品的制造与装配工艺、市场前景及产品的经济性来考虑机械零部件的设计问题。此外，在市场竞争日趋激烈的今天，产品的开发设计离不开创新，因此，应努力增强创新意识，培养创新设计能力，以积极创新的精神对待本课程的学习。

第 1 章 平 面 机 构

1.1 概述

机械一般由若干个常用机构组成，而机构是由两个以上具有确定相对运动的构件组成。若组成机构的所有构件都在同一平面或者平行平面中运动，则称该机构为平面机构。机构是具有确定相对运动的多构件组合体，为了传递运动和动力，各构件之间必须以一定的方式连接起来，并且具有确定的相对运动。工程中常见的机构大多属于平面机构，本章仅讨论平面机构。

1.2 平面机构的组成

1.2.1 运动副的概念

构件与构件之间直接接触并能产生一定相对运动的联接称为运动副，如轴与轴承、滑块与导槽、活塞与缸筒以及一对轮齿啮合形成的联接，都构成了运动副。构件上参与接触的点、线、面，称为运动元素，如图 1-1。两构件只能在同一平面相对运动的运动副称为平面运动副。

1.2.2 运动副的分类及其符号

按照两构件间接触性质不同，平面运动副通常可分为低副和高副。

1. 低副

两构件形成面与面接触的运动称为低副，如图 1-2 所示。根据构成低副的两构件间的相对运动的特点，又可分为转动副和移动副。由于低副是面接触，在承受载荷时压强较低，便于润滑，故磨损较轻。

转动副是两构件只能作相对转动的运动副，如图 1-2a 所示的铰链联接组成转动副。移动副是两构件只能沿某一轴线相对移动的运动副，如图 1-2b 所示。

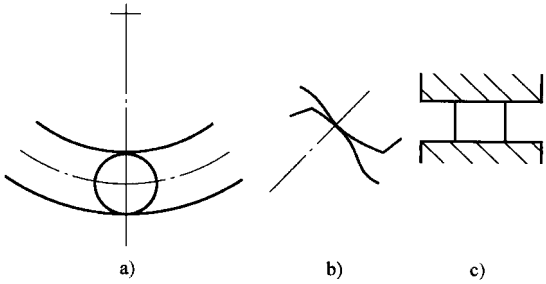


图 1-1 平面运动副

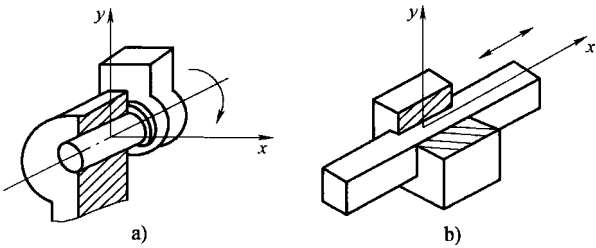


图 1-2 低副

a) 转动副 b) 移动副

2. 高副

两构件以点或线的形式相接触而组成的运动副称为高副。如图 1-3 所示的齿轮副、凸轮副和车轮与钢轨接触而构成的运动副都是高副，构件 2 可以相对构件 1 绕接触点 A 转动，又可以沿接触点的切线 $t-t$ 方向移动，而只有沿公法线 $n-n$ 方向的运动受到限制。

由于高副是以点或线形式相接触，其接触部分的压强较高，故易磨损。

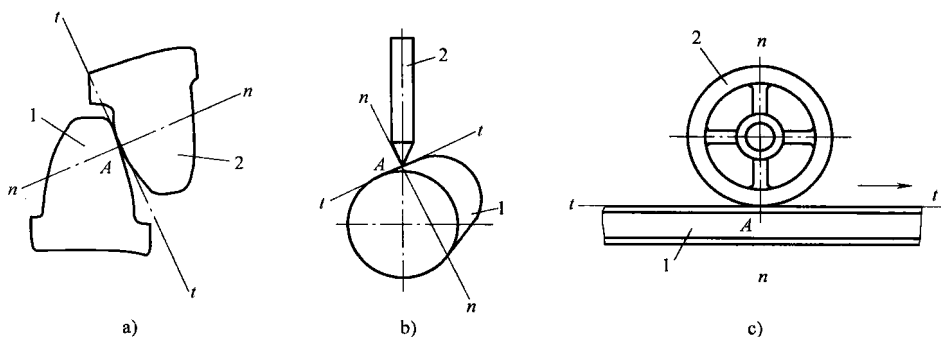


图 1-3 高副

a) 齿轮副 b) 凸轮副 c) 移动副

1.2.3 运动链和机构

两个以上构件以运动副连接而成的系统称为运动链。若组成运动链的各构件形成首尾封闭的系统，则称为封闭运动链，简称闭链，如图 1-4a、b 所示；若组成运动链的各构件未形成首尾封闭的系统，则称为开式运动链，简称开链，如图 1-4c 所示。

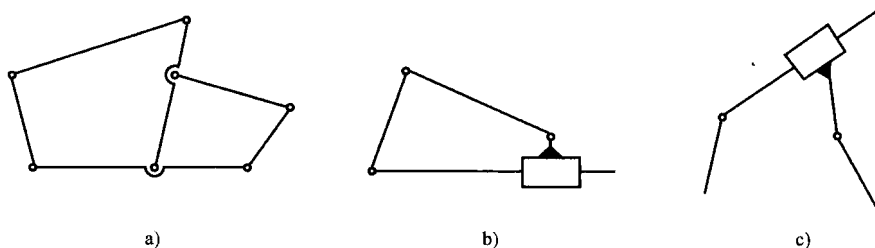


图 1-4 运动链

在运动链中，若将某一构件加以固定，当一个或几个可动构件按照给定的规律独立运动时，其余构件也随之做一定的运动，这种运动链称为机构。

组成机构的构件按其运动性质可分为机架、主动件和从动件。机构中固定不动的构件称为机架，它用来支承机构中的可动构件；按照给定的运动规律独立运动的构件称为原动件或主动件，它是机构中输入运动或动力的构件，又称为输入构件，其余的可动构件称为从动件。

1.3 平面机构的运动简图

1.3.1 机构运动简图的概念

实际机械的外形和结构大都比较复杂,为了便于分析和研究,工程中常用简单的线条和符号表示构件及运动副。用构件和运动副的特定符号来表示机构中各构件间相对运动关系的简单图形,称为机构示意图。按一定的长度比例尺绘制的机构示意图称为机构运动简图。机构运动简图不仅可以简明地反映原机构的运动特性,还可以对机构进行运动和动力分析。

1.3.2 机构中构件的表式方法

1. 构件

构件可用直线、三角形或方块等图形表示。实际构件的外形和结构是复杂而多样的,在绘制机构运动简图时,构件的表达原则是撇开那些与运动无关的构件外形和结构,仅把与运动有关的尺寸用简单的线条表示出来。

2. 运动副的表示方法

(1) 转动副 两构件组成转动副的表示方法如图 1-5a、b、c 所示。圆圈用来表示转动副,其圆心代表相对转动轴线。若组成转动副的两个构件都是活动件,则用图 a 表示;若其中一个为机架,则在代表机架的构件上加上斜线,如图 1-5b、c 所示。

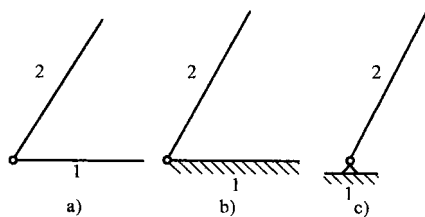


图 1-5 转动副的表示方法

(2) 移动副 两构件组成移动副的表示方法如图 1-6a、b、c 所示。移动副的导路必须与相对移动方向一致。

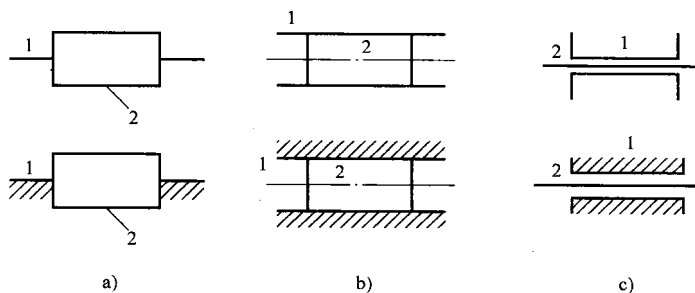


图 1-6 移动副的表示方法

(3) 平面高副 两构件通过点接触或线接触形成的运动副称为高副,如图 1-7 所示。图 1-7a 中凸轮 1 与从动件 2、图 1-7b 中齿轮 1 与齿轮 2 在接触点 A 处组成的运动副都是高副。高副使构件失去了沿接触点 A 公法线 $n-n$ 方向移动的自由度,保留了绕接触点 A 转动和沿接触点 A 公切线 $t-t$ 方向移动的两个自由度。用符号表示高副时,一般需把两构件在接触点处的曲线轮廓画出,如图 1-7a 所示。但对于齿轮机构,习惯上只画出两齿轮的节圆。

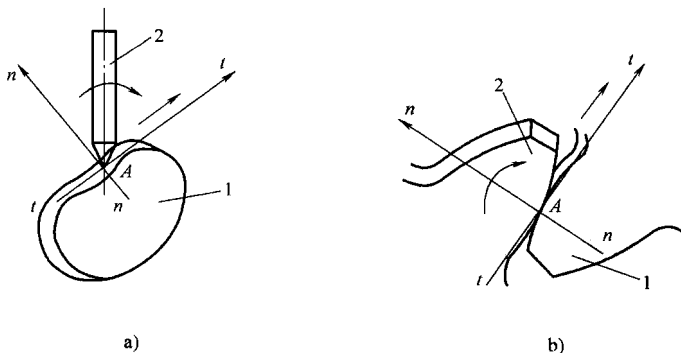


图 1-7 高副的表示方法

1.3.3 机构运动简图绘制

1. 机构运动简图的绘制步骤

- (1) 分析机械的工作情况 找出机架，确定原动件和从动件（包括执行件和传动件）。
- (2) 分析机械运动情况 从原动件开始，沿着运动传递路线逐一分析各构件间相对运动的性质，确定构件的数目、运动副的类型和数目。
- (3) 合理选择视图平面 选择多数构件所在的运动平面或平行于运动平面的平面作为视图平面。

(4) 绘制机构运动简图 测量构件尺寸，选择合适的比例，定出各运动副的相对位置，用规定的简单符号绘制机构运动简图。在机架上加上阴影线，在原动件上标上箭头，按传动路线给各构件依次标上构件号 1, 2, 3, …，给各运动副标上 A, B, C, …（表示方法详见图 1-8）。

2. 平面机构运动简图的绘制举例

例 1-1 绘制单缸内燃机的机构运动简图。

解 (1) 分析、确定构件类型 内燃机内包括三个机构，其运动平面平行，故可视为一个平面机构。活塞 2 为原动件，缸体 1 为机架，连杆 3、曲轴 4、齿轮 5、齿轮 6、凸轮轴 7、进气门顶杆 8、排气门顶杆 9 均为从动件。

(2) 确定运动副类型 曲柄滑块机构中，活塞 2 与缸体 1 组成移动副，活塞 2 与连杆 3、连杆 3 与曲轴 4、曲轴 4 与缸体 1 分别组成转动副。齿轮机构中，齿轮 5 与缸体 1、齿轮 6 与缸体 1 分别组成转动副，齿轮 5 与齿轮 6 组成高副。

凸轮机构中，凸轮轴 7 与缸体 1 组成转动副，进气门顶杆 8 与缸体 1 组成移动副，凸轮轴 7 与进气门顶杆 8 组成高副。

(3) 定视图方向 连杆运动平面为视图方向。

(4) 选择比例尺，绘制简图 先画出滑块导路中心线及曲轴中心位置，然后根据构件尺寸和运动副之间的尺寸，按选定的比例尺和规定符号绘出，如图 1-8 所示。

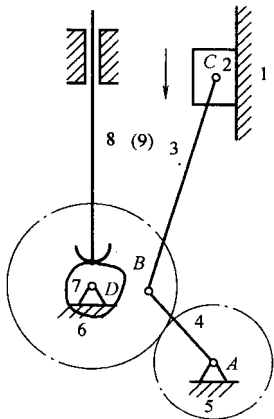


图 1-8 内燃机的机构运动简图

1—缸体 2—活塞 3—连杆 4—曲轴
5、6—齿轮 7—凸轮轴 8—进气门顶杆 9—排气门顶杆

$$\text{比例尺 } \mu_r = \frac{\text{构件的实际长度 (mm)}}{\text{构件的图形长度 (mm)}}$$

1.4 平面机构的自由度

1.4.1 平面运动机构的自由度

一个做平面运动的自由构件有三个独立运动的可能性,如图 1-9 所示,在 xoy 坐标系中,构件可随其上任一点沿 x 轴、 y 轴方向移动,也可在 xoy 平面绕垂直于 xoy 平面的轴线 z 转动,这三个独立的运动称为该构件的自由度。

平面机构的每个活动构件在未构成运动副之前都是三个自由度。当两个构件直接接触组成运动副之后,它们的相对运动就受到限制,自由度随之减少。运动副对构件的独立运动所加的限制称为约束。不同类型的运动副引入的约束数不同,每引入一个约束,构件就减少一个自由度。

图 1-10 所示的转动副约束了 x 、 y 两个方向的移动,只保留一个转动。

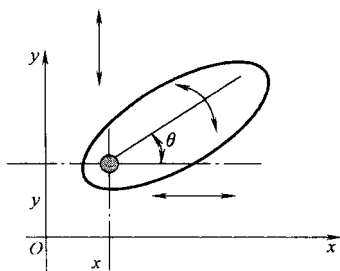


图 1-9 平面运动构件的自由度

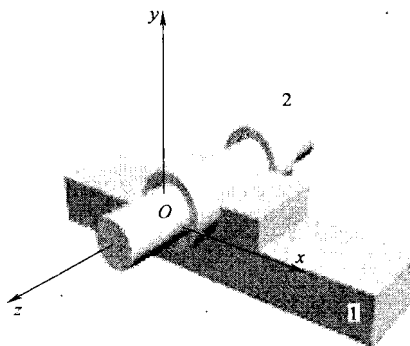


图 1-10 转动副

图 1-11 所示的移动副约束了沿 y 轴方向的移动和在 xoy 平面内的转动,只保留沿 x 轴方向的移动。

图 1-12 所示的高副只约束了沿接触处公法线 $n-n$ 方向的移动。

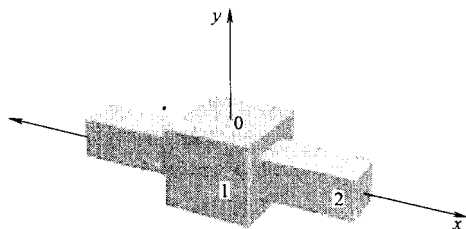


图 1-11 移动副

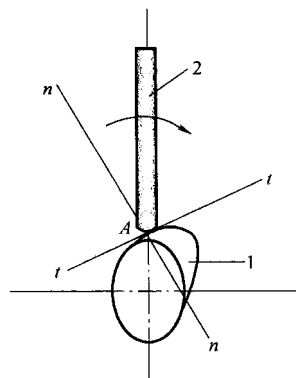


图 1-12 高副

1.4.2 自由度的计算

机构的自由度就是机构具有独立运动参数的数目。自由度取决于运动链中构件的数目及运动副的类型和数目。

设一个平面运动链由 N 个构件组成, 其中一个构件为机架, 则有 $n = N - 1$ 个活动构件。未构成运动副之前, 这些活动构件应有 $3n$ 个自由度。假设构成 P_L 个低副和 P_H 个高副, 而一个低副引入两个约束, 一个高副引入一个约束, 每引入一个约束构件就失去一个自由度, 故整个运动链相对机架的自由度应为活动件自由度的总数与运动副引入约束总数之差。以 F 表示机构的自由度数, 则有

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

例 1-2 计算图 1-8 所示内燃机构件系统的自由度。

解 图中, 曲轴 4 和齿轮 5、齿轮 6 和凸轮轴 7 固连在一起, 故可分别视为三个构件。因此, $n = 5$, $P_L = 6$ (其中有两个移动副, 四个转动副), $P_H = 2$, 则该构件系统的自由度

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

因此, 它只需要一个原动件便具有确定的相对运动。

1.4.3 机构具有确定运动的条件

前已述及机构中各构件之间必有确定的相对运动。由自由度的计算可知, 构件的组合能否成为机构, 其必要条件为 $F > 0$, 而构件系统成为机构的充分条件是必须具有确定的相对运动。从动件是不能独立运动的, 只有原动件才能独立运动。通常每个原动件只有一个独立运动, 因此, 要使各构件之间具有确定的相对运动, 必须使原动件数等于构件系统的自由度数。现从下面两种情况分析: 当运动链自由度大于 0 时, 如果原动件数少于自由度数, 那么运动链就会出现运动不确定现象, 不能成为机构, 如图 1-13 所示; 如果原动件数大于自由度数, 则运动链中最薄弱的构件或运动副可能被破坏, 或不能动, 也就不能成为机构, 如图 1-14 所示。

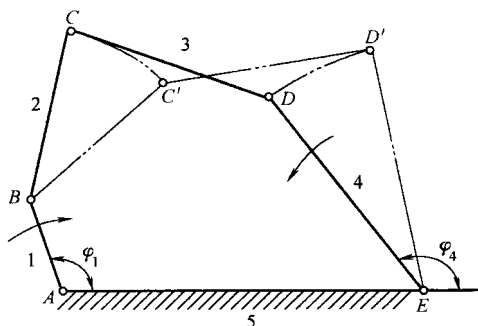


图 1-13 铰链五杆机构

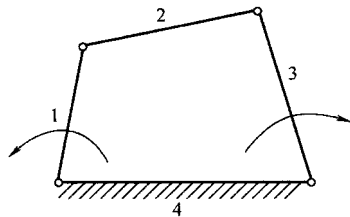


图 1-14 具有一个自由度的平面机构

所以, 只有当原动件数等于运动链的自由度数时, 构件之间才能获得确定的相对运动。综上所述, 构件系统成为机构的条件是: 运动链相对于机架的自由度必须大于零, 且原动件

数等于运动链的自由度数。满足上述条件的运动链即为机构，机构的自由度用式 (1-1) 计算。

例 1-3 试计算图 1-15 所示航空照相机快门机构的自由度。

解 该机构的构件总数 $N=6$ ，活动构件数 $n=5$ ，6 个转动副、一个移动副，没有高副，由此可得机构的自由度数为

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

1.4.4 平面机构自由度计算应注意的问题

1. 复合铰链

两个以上构件在同一处以转动副相连接构成的运动副称为复合铰链。图 1-16 所示是三个构件汇交成的复合铰链，图中构件 1 分别与构件 2、构件 3 构成两个转动副。依此类推， N 个构件在一处以转动副相连，应具有 $N-1$ 个转动副。因此在统计转动副数目时应注意识别复合铰链，避免遗漏。

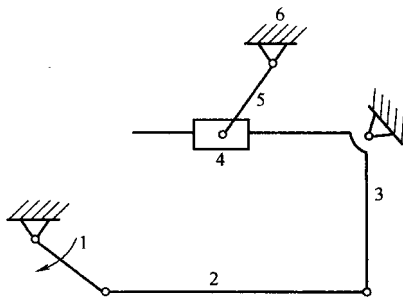


图 1-15 航空照相机快门机构

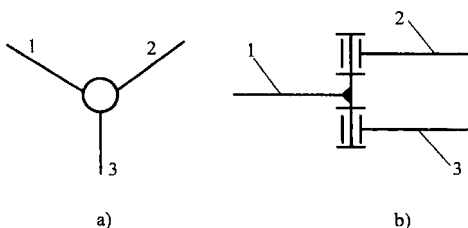


图 1-16 复合铰链

例 1-4 计算图 1-17 所示钢板剪切机的自由度。

解 由图可知， $n=5$ ， $P_L=7$ ， $P_H=0$ （ B 处为复合铰链，含两个转动副；自行分析 C 处是否为复合铰链，为什么），则 $F=3n-2P_L-P_H=3\times 5-2\times 7-0=1$ 。

2. 局部自由度

机构中出现的与输出、输入运动无关的自由度称为局部自由度。如图 1-18 所示的凸轮机构中，为了减少高副接触处的磨损，在从动件上安装一个滚子，使其与凸轮轮廓线滚动接触。显然，滚子绕本身轴线的转动不影响其他构件的运动，该转动的自由度即局部自由度。计算时先把滚子看成与从动件连成一体，消除转动副后再计算其自由度，如图 1-18b 所示。此时机构中

$$n=2, P_L=2, P_H=1$$

则

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

3. 虚约束

在实际机构中，有些运动副所起的约束作用是重复的，这种不起独立限制作用的重复约束称为虚约束。在计算机构自由度时，虚约束应除去不计。

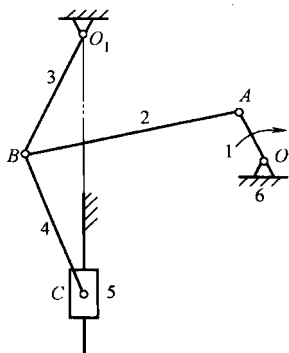


图 1-17 钢板剪切机

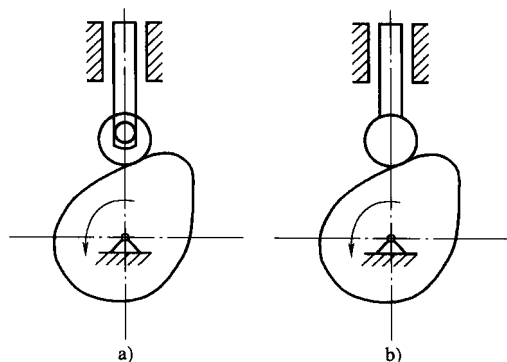


图 1-18 局部自由度

平面机构中的虚约束，常出现在以下情况中：

(1) 轨迹重合 连接构件上的轨迹和机构上连接点的轨迹重合时，引入虚约束。如图 1-19a 所示的平行四边形机构中，连接构件 5 上 E 点的轨迹与机构连杆 BC 上的轨迹重合，构件 5 引入了虚约束，计算机构自由度时，应按图 1-19b 处理，将构件 5 及两个转动副 E、F 去掉。

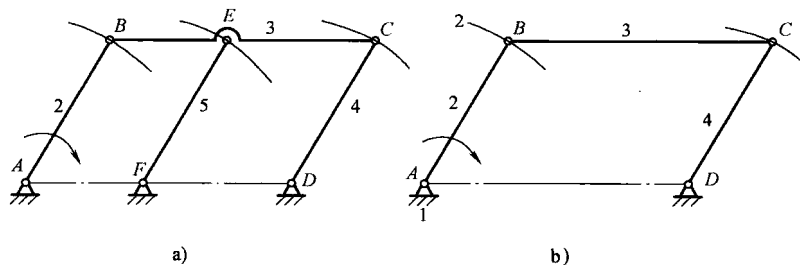


图 1-19 轨迹重合平行四边形的机构

(2) 导路平行或重合的移动副 两构件构成多个导路相互平行的移动副时，会出现虚约束。如图 1-20a 所示的曲柄滑块机构中，移动副 D 和 D' 只有一个起约束作用，另一个则为虚约束，计算机构自由度时按图 1-20b 处理。

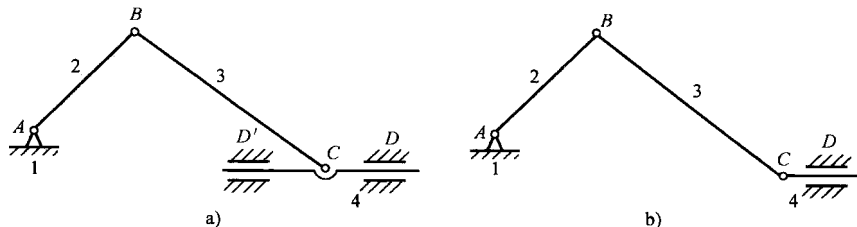


图 1-20 导路平行的多个移动副

(3) 轴线重合的转动副 两构件构成多个轴线相互重合的转动副，会出现虚约束。如图 1-21a 所示的齿轮机构中，转动副 A 和 A'、B 和 B' 只有一个起约束作用，另一个为虚约束，计算机构自由度时，应按图 1-21b 处理。

(4) 传动对称 机构中传递运动而不起独立作用的对称部分形成虚约束，如图 1-22 所示的差动轮系。

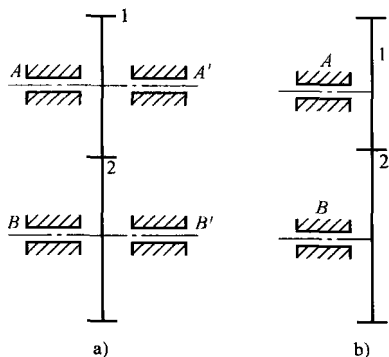


图 1-21 轴线重合的转动副

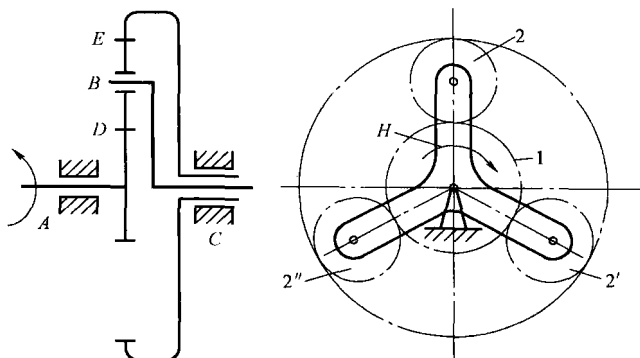


图 1-22 差动轮系

例 1-5 计算图 1-23 所示大筛机构的自由度, 并判断此构件系统是否具有确定的相对运动。

解 图 1-23 中 C 处为复合铰链;
 E 和 E' 为两构件组成的导路平行的移动副, 其中之一为虚约束; F 处滚子为局部自由度。可将滚子与构件 3 看成是联接在一起的整体, 即消除局部自由度且去掉移动副 E' , 则得机构的可动构件数 $n=7$, 低副数 $P_L=9$, 高副数 $P_H=1$ 。按式 (1-1), 有

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 7-2 \times 9-1=2$$

此机构自由度等于 2, 与原动件数相等, 故此构件系统具有确定的相对运动。

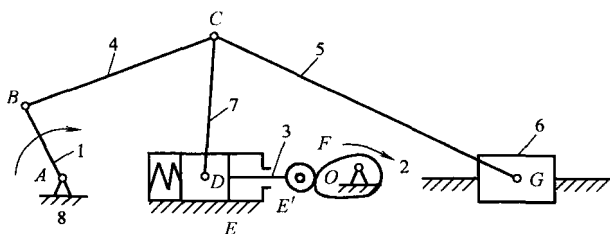


图 1-23 大筛机构

1.5 思考题与习题

1-1 既然虚约束对机构的运动不起作用, 为何机械中仍经常使用虚约束?

1-2 什么是机构运动简图? 如何绘制?

1-3 计算机构自由度时, 应该注意哪些事项?

1-4 如何判定机构具有确定的运动?

1-5 简易冲床机构如图 1-24 所示, 原动件 1 通过固定在其上面的圆销 A 带动滑块 2 绕固定轴心 O_1 点转动, 滑块 2 又带动导槽 3' (与圆盘 3 固定连接) 绕固定轴心 O_2 点转动, 通过连杆 4 带动冲头 5 在机架 6 中作上下往复运动。试求:

1. 绘制机构的运动简图。

2. 计算机构自由度, 判断机构从动件是否具有确定的相对运动?

1-6 试计算图 1-25 所示图的自由度, 并判断机构是

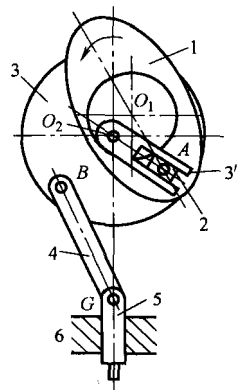


图 1-24 题 1-5 图

1—原动件 2—滑块 3—圆盘
 3'—导槽 4—连杆 5—冲头 6—机架