



21 世纪高等院校应用型规划教材

机械设计基础

主 编 刘显贵 涂小华
副主编 温志霞 刘国亮



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书分为19章,第1~7章讲述了机械原理的基本内容;第8章为机械设计概论;第9~18章介绍了带、链、齿轮、蜗杆传动、连接、轴、轴承、联轴器、离合器等通用零件的选择、设计、计算等问题;第19章简要介绍机械传动系统的设计,为课程设计做好准备。

本书是高等院校机械类、近机械类专业的教材,高等职业技术学院师生用书,还可供其他各专业师生和广大技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/刘显贵,涂小华主编. —北京:北京理工大学出版社,
2007.8

ISBN 978-7-5640-1259-5

I. 机… II. ①刘…②涂… III. 机械设计—高等学校—教材
IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第128942号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787毫米×960毫米 1/16

印 张 / 22

字 数 / 450千字

版 次 / 2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷

印 数 / 1~4000册

定 价 / 35.00元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

21 世纪高等院校应用型规划教材编委会

(机电类专业)

主 审 郭纪林 林知秋 张岐生

主 任 陈智刚 京玉海

副 主 任 方晓勤 熊 坚 朱江峰

委 员 余 萍 陈根琴 高保真 肖文福 李俊彬

 李 奇 杨 安 陈小云 魏春雷 徐慧民

 赵广平 唐 刚 涂序斌 袁建新 敖春根

 夏永英 余 林 张克义 宋志良 黄国兵

 郑和安 刘 勇 王训杰 陈华庚 刘耀元

 魏斯亮

(排名不分先后)

执行委员 钟志刚 廖宏欢

前 言

机械设计基础是高等院校工科类专业的一门主干专业课。本书为适应应用型专业人才培养的需要,总结了各高等院校近年来的教学改革与实践经验,贯彻重基础、少学时、低重心、新知识、宽面向的改革思路,旨在培养学生的综合设计能力和工程实践能力,满足生产一线应用型专业人才的需要。

本课程实践性很强,课程教学必须与实验课程设计和生产实习等实践性环节密切配合,应尽量采用多媒体等现代化的教育手段和教学方法,以便达到较理想的教学效果。

本书由刘显贵、涂小华任主编;温志霞、刘国亮任副主编。绪论及第1、2、3、8、9、19章由刘显贵编写;第4、5、6、7章由刘国亮编写;第10、11、12、13章由温志霞编写;第14、15、16、17、18章由涂小华编写。

由于编者水平有限,编写时间又较紧迫,书中难免有不足之处,诚恳希望各位读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论	(1)
第 1 章 平面机构运动简图及自由度	(5)
1.1 平面机构的组成	(5)
1.2 平面机构运动简图	(8)
1.3 平面机构的自由度	(10)
本章小结	(14)
习 题	(15)
第 2 章 平面连杆机构	(17)
2.1 概 述	(17)
2.2 铰链四杆机构的基本形式及其演化	(18)
2.3 平面四杆机构的基本特性	(24)
2.4 平面四杆机构的设计	(27)
本章小结	(30)
思考题	(31)
习 题	(31)
第 3 章 凸轮机构	(33)
3.1 凸轮机构的应用和类型	(33)
3.2 从动件的常用运动规律	(35)
3.3 用图解法设计盘形凸轮轮廓	(39)
3.4 解析法设计凸轮轮廓	(42)
3.5 凸轮机构的压力角	(45)
本章小结	(46)
习 题	(47)

第4章 齿轮机构	(49)
4.1 引 言	(49)
4.2 齿轮机构的特点及类型	(49)
4.3 齿廓啮合基本定律	(50)
4.4 渐开线性质及渐开线齿廓	(51)
4.5 渐开线直齿圆柱齿轮各部分的名称和尺寸计算	(53)
4.6 渐开线标准齿轮的啮合传动	(56)
4.7 渐开线齿廓的加工原理及变位齿轮的概念	(57)
4.8 平行轴斜齿齿轮机构	(63)
4.9 圆锥齿轮机构	(67)
思考题	(70)
习 题	(70)
第5章 轮 系	(72)
5.1 引 言	(72)
5.2 轮系的类型	(72)
5.3 定轴轮系及其传动比	(73)
5.4 周转轮系及其传动比	(76)
5.5 混合轮系及其传动比	(79)
思考题	(81)
习 题	(81)
第6章 其他常用机构	(84)
6.1 棘轮机构	(84)
6.2 槽 轮	(87)
6.3 不完全齿轮机构	(88)
6.4 组合机构	(89)
思考题	(92)
习 题	(93)
第7章 机械的动力性能	(94)
7.1 回转件的平衡	(94)
7.2 机械速度波动与调节	(102)
思考题	(106)

第 8 章 机械设计概论	(108)
8.1 机械设计的性质和任务	(108)
8.2 机械零件设计时应满足的基本要求及主要设计准则	(108)
8.3 机械常用材料和制造工艺性	(111)
8.4 机械零件设计的一般步骤	(119)
8.5 机械设计的新发展	(119)
思考题	(120)
第 9 章 连接	(122)
9.1 螺纹连接	(122)
9.2 键连接和花键连接	(140)
9.3 销连接	(145)
习 题	(146)
第 10 章 齿轮传动	(148)
10.1 概 述	(148)
10.2 齿轮传动的失效形式	(149)
10.3 齿轮材料及热处理	(151)
10.4 齿轮传动的精度	(154)
10.5 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(157)
10.6 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	(167)
10.7 直齿圆锥齿轮传动的强度计算	(172)
10.8 齿轮结构	(176)
思考题	(179)
习 题	(180)
第 11 章 蜗杆传动	(184)
11.1 概 述	(184)
11.2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	(188)
11.3 蜗杆传动的失效形式、材料和结构	(192)
11.4 蜗杆传动的强度计算	(195)
11.5 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	(198)
思考题	(201)
习 题	(202)

第 12 章 带传动	(204)
12.1 概 述	(204)
12.2 带传动的工作情况分析 & 设计准则	(208)
12.3 普通 V 带传动的设计计算	(211)
12.4 V 带轮设计	(218)
12.5 带传动的张紧装置	(223)
12.6 其他带传动简介	(225)
思考题	(226)
习 题	(226)
第 13 章 链传动	(228)
13.1 概 述	(228)
13.2 滚子链的链条和链轮	(230)
13.3 链传动的工作情况分析	(234)
13.4 滚子链传动的承载能力和设计计算	(236)
13.5 链传动的润滑、布置和张紧	(240)
13.6 齿形链传动简介	(244)
思考题	(245)
习 题	(246)
第 14 章 轴	(248)
14.1 轴的分类与应用	(248)
14.2 轴的材料选择	(249)
14.3 轴的结构设计	(250)
14.4 轴的强度计算	(256)
14.5 轴的刚度计算简介	(260)
习 题	(261)
第 15 章 滑动轴承	(262)
15.1 概 述	(262)
15.2 滑动轴承的主要类型和结构	(263)
15.3 滑动轴承的材料和轴瓦结构	(265)
15.4 非液体摩擦滑动轴承的校核计算	(270)
15.5 滑动轴承的润滑	(272)

15.6 液体摩擦滑动轴承简介·····	(277)
习 题·····	(278)
第 16 章 滚动轴承 ·····	(279)
16.1 概 述·····	(279)
16.2 滚动轴承的主要类型性能 and 特点·····	(279)
16.3 滚动轴承的代号和类型选择·····	(284)
16.4 滚动轴承的失效形式和尺寸选择·····	(288)
16.5 滚动轴承的组合设计·····	(296)
16.6 滚动轴承与滑动轴承的比较·····	(301)
习 题·····	(307)
第 17 章 联轴器和离合器 ·····	(308)
17.1 概 述·····	(308)
17.2 联轴器·····	(308)
17.3 离合器·····	(314)
17.4 制动器·····	(316)
习 题·····	(318)
第 18 章 弹 簧 ·····	(319)
18.1 弹簧的功用和类型·····	(319)
18.2 弹簧的材料和制造·····	(321)
18.3 圆柱形螺旋弹簧·····	(324)
习 题·····	(332)
第 19 章 机械传动系统设计 ·····	(333)
19.1 传动系统的功能与分类·····	(333)
19.2 机械传动系统方案设计的基本步骤·····	(334)
19.3 机械传动系统方案的拟定·····	(335)
思考题·····	(338)
习 题·····	(338)



绪 论

1. 引言

机器是人类为了提高劳动生产率而创造出来的主要工具，使用机器进行生产的水平是衡量一个国家的技术水平和现代化程度的重要标志之一。大量的新机器从传统的纯机械设备演变成机电一体化的设备。机器的设计、制造进入了智能化的新阶段。机器的设计制造周期越来越短，对机器的性能、质量的要求也越来越高，个性化要求越来越多，机械产品向着高速、精密、重载、智能等方面发展。

机械种类繁多，性能、用途各异，但是它们有共同的特征，要从它们的特征出发，剖析其结构，研究其组成原理，以达到掌握、运用的目的。

2. 机器的组成及其特征

在人们的生产和生活中，广泛使用着各种机器。机器可以减轻或代替人的体力劳动，并大大提高劳动生产率和产品质量。随着科学技术的发展，生产的机械化和自动化已经成为衡量一个国家社会生产力发展水平的重要标志之一。

几个常用术语

(1) 机器、机构、机械

尽管机器的用途和性能千差万别，但它们的组成却有共同之处，总的来说机器有 3 个共同的特征：①都是一种人为的实物组合；②各部分形成运动单元，各运动单元之间具有确定的相对运动；③能实现能量转换或完成有用的机械功。同时具备这 3 个特征的称为机器，仅具备前两个特征的称为机构。若抛开其在做功和转换能量方面所起的作用，仅从结构和运动观点来看两者并无差别。因此，工程上把机器和机构统称为“机械”。

以单缸内燃机（见图 0-1）为例，它是由气缸体 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。通过燃气在气缸内的进气—压缩—燃烧—排气过程，使其燃烧的热能转变为曲轴转动的机械能。单缸内燃机作为一台机器，是由连杆机构、凸轮机构和齿轮机构组成的。燃气推动活塞做往复运动，经由气缸体、活塞、连杆、曲轴组成的连杆机构，转变为曲轴的连续转动；气缸体、齿轮 9 和 10 组成的齿轮机构

将曲轴的转动传递给凸轮轴；而由凸轮、顶杆、气缸体组成的凸轮机构将凸轮轴的转动变换为顶杆的直线往复运动，进而保证进、排气阀有规律地启闭。可见，机器由机构组成，简单的机器也可只有一个机构。机构有多种形式，其中常用机构有：连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇机构等。

(2) 构件、零件、部件

组成机器的运动单元称为构件；组成机器的制造单元称为零件。构件可以是单一的零件，也可以由组合在一起的几个刚性零件组成。如图 0-1 所示，齿轮既是零件又是构件；而连杆则是由连杆体、连杆盖、螺栓及螺母几个零件组成的，这些零件形成一个整体而进行运动，所以称为一个构件，如图 0-2 所示。在机械中把为完成同一使命，彼此协同工作的一系列零件或构件所组成的组合体称为部件，如滚动轴承、联轴器、减速器等。

零件可分为通用零件和专用零件两类。

①通用零件是在各种机械中普遍采用的零件，如螺钉、齿轮、轴承等。

②专用零件只出现在特殊机械中，如汽轮机叶片、内燃机活塞等。

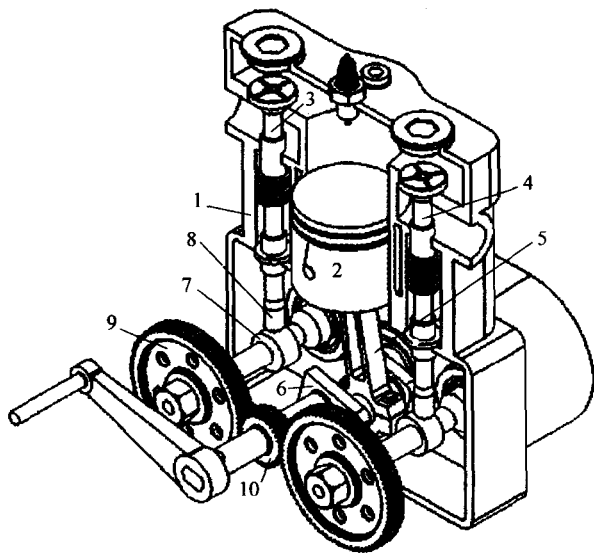


图 0-1 单缸内燃机

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

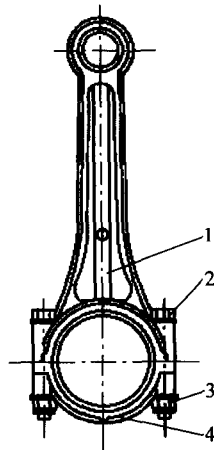


图 0-2 连杆

1—连杆体 2—螺栓
3—螺母 4—连杆盖

3. 机械设计的基本要求

机械设计的目的是为了满足不同社会生产和生活需求。在设计中应合理确定机械系统功能，增强可靠性，提高经济性，确保安全性。机械产品设计应满足以下几方面的基本要求。

①实现预定功能：机械产品应能实现预定功能，并在规定的工作条件下、规定的工作期限内能正常运转。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，合理设计零件，满足强度、刚度、耐磨性等方面的要求。

②满足可靠性要求：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。只有零、部件的可靠性高，才能使系统的可靠性高。机械系统的零、部件越多，其可靠度越低。为此，要尽量减少机械系统的零件数目，并且对于对系统可靠性有关键影响的零件，必须保证其必要的可靠性。

③符合经济合理性：符合经济合理性要求设计的机械产品应先进、功能强、生产效率高、成本低、使用维护方便、在产品寿命周期内用最低的成本实现产品的预定功能。

④确保安全性要求：要能保证操作者的安全和机械设备的安全，并保证设备对周围环境无危害，要设置过载保护和安全互锁等装置。

⑤推行标准化要求：机械产品规格、参数要符合国家标准，零部件应最大限度地与同类产品互换通用，产品应成系列发展，推行标准化、系列化、通用化，提高标准化程度和水平。

4. 机械设计基础课程的内容、性质和任务

1) 课程内容

本课程在简要介绍有关整部机器设计基本知识的基础上，重点介绍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。

2) 课程性质

本课程是一门技术基础课，它综合运用了工程力学、金属工艺学、机械制图、公差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，较之以前的先修课程更接近工程实际，但也有别于专业课程，它主要研究各类机械所具有的共性问题，在机电类专业课程体系中占有重要位置。

3) 课程任务

- (1) 了解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) 掌握通用零件的工作原理、选用和维护等方面的知识。
- (3) 培养学生初步具有运用标准手册查阅相关技术资料的能力，具有通用零件的参数选择能力和简单机械传动装置的设计计算能力。
- (4) 获得本学科实验技能的初步训练。
- (5) 通过本课程的学习为后续专业课程打好基础。

5. 设计人员的素质

设计人员必须善于把设计构思、设计方案用语言、文字和图形方式传递给主管者和协作者，以取得批准和赞同。除具体技术问题外，设计人员还要论证下列问题：①此设计是否确

为人们所需要? 需求量如何? ②有哪些特色? 能否与同类产品竞争? ③制造上是否经济? 成本如何? ④维修保养是否方便? ⑤是否有市场? 社会购买力如何? ⑥社会效益与经济效益如何? ⑦是否可持续发展?

从事设计工作的人员除应具有广博的基础理论知识和生产实践知识外, 还应具有下列素质。

①要有高度的责任心。设计人员应对设计的技术合理性和设计后果负责, 做到工作原理正确、方案可行、使用可靠。由于产品质量问题造成用户财产损失、人员伤亡、触犯刑律的, 可由司法机关依法追究当事人的责任。因此设计人员一定要把提高产品质量放在第一位。

②要有法律观念和道德观念。国家正式颁布的有关条文, 如标准、设计规范、专利法等都属于法律与法规范畴, 必须严格遵守。合同、协议等文件受法律保护, 签约后要坚决履行, 以保证信誉。

③要有不断创新和不断进取的精神。设计人员一定要养成勤于观察和思索的习惯, 要能够从生活和生产中发现和提出问题。只有不断进行创造性思维和方法的锻炼, 才能逐渐提高设计水平, 提高和扩大产品的功能。平时要注意积累有关的科学研究、科技开发、专利等新成果, 以及市场信息等有关资料, 通过归纳、推理、分析、综合的方法, 从中预测未来的发展趋势。

要虚心征求用户、制造人员、管理人员、销售人员和同行技术专家的各种意见, 从而制订比较完善的设计方案。团结协作是做好设计工作的基础之一, 尤其是和其他专业的技术人员合作。由于产品更新周期将越来越短, 从设计、制造到销售的传统顺序模式有逐渐变为平行模式的可能, 因此设计人员也要善于处理人际关系。

思考题

- 0-1 机器、机构与机械有什么区别? 各举出两个实例。
- 0-2 机器具有哪些共同的特征? 如何理解这些特征?
- 0-3 零件与构件有什么区别? 并用实例说明。举出多个常用的通用机械零件。
- 0-4 机械设计的基本要求是什么? 为什么要确定机器的预定使用期限?
- 0-5 机械设计的一般过程是什么?

第1章

平面机构运动简图及自由度

机构是用运动副连接起来的构件系统，其中有一个构件为机架，是用来传递运动和力的。机构还可以用来改变运动形式。机构各构件之间必须有确定的相对运动，构件任意拼凑起来是不一定具有确定运动的。有些构件可用铰链连接成组合体，但各构件之间无相对运动，所以它不是机构。有的构件组合体中只给定某一构件的运动规律，其余构件的运动并不确定。构件究竟应如何组合，才具有确定的相对运动，这对分析现有机构或机构的创新设计是很重要的。

1.1 平面机构的组成

1.1.1 构件的自由度

构件是机构中运动的单元体，因此它是组成机构的基本要素。构件的自由度是构件可能出现的独立运动。任何一个构件在空间自由运动时皆有6个自由度，它可表达为在直角坐标系内沿着3个坐标轴的移动和绕3个坐标轴的转动。而对于一个作平面运动的构件，则只有3个自由度，如图1-1所示，构件 AA' 可以在 xOy 平面内在任一点 m 绕 z 轴转动，也可沿 x 轴或 y 轴方向移动。

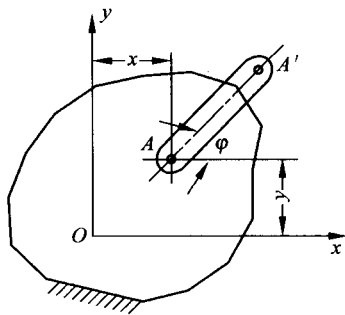


图 1-1 平面自由构件的自由度

1.1.2 约束与运动副

平面机构中每个构件都不是自由构件，而是以一定的方式与其他构件组成运动副。这种使两构件直接接触并能产生运动的连接，称为运动副。两构件组成运动副后，就限制了构件的独立运动，两构件组成运动副时构件上参加接触的点、线、面称为运动副元素，显然运动副也是组成机构的主要要素。两构件组成运动副后，就限制了

两构件间的相对运动,对于相对运动的这种限制称为约束。根据组成运动副两构件之间的接触特性,运动副可分为低副和高副。

1.1.3 运动副及其分类

1. 低副

两构件通过面接触形成的运动副称为低副。组成运动副的两构件只能沿某一直线做相对移动的低副称为移动副,如图 1-2 所示。移动副使构件失去沿某一轴线方向移动和在平面内绕原点 O 转动的两个自由度,只保留了沿另一轴线方向移动的自由度。组成运动副的两构件之间只能绕某一轴线作相对转动时的低副称为转动副,如图 1-3 所示。转平面机构中的低副引入两个约束,仅保留一个自由度。转动副使构件失去沿 x 轴或 y 轴两个方向移动的自由度,只保留一个绕原点 O 转动的自由度。移动副和转动副分别可以用如图 1-4 和图 1-5 所示的符号表示。

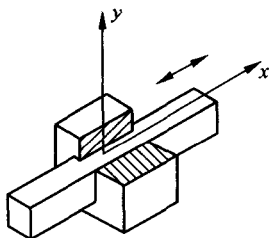


图 1-2 移动副

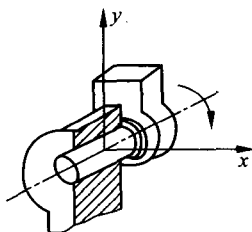


图 1-3 转动副

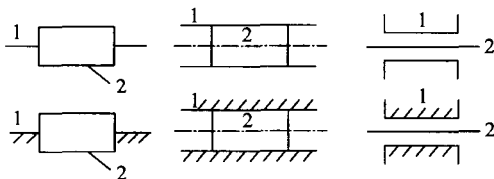


图 1-4 表示移动副的符号

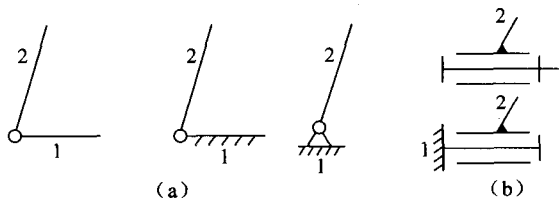


图 1-5 表示转动副的符号

2. 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1-6所示。图1-6(a)中凸轮1与从动件2,图1-6(b)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1-6(a)所示,但对于齿轮机构,习惯上只画出两齿轮的节圆。

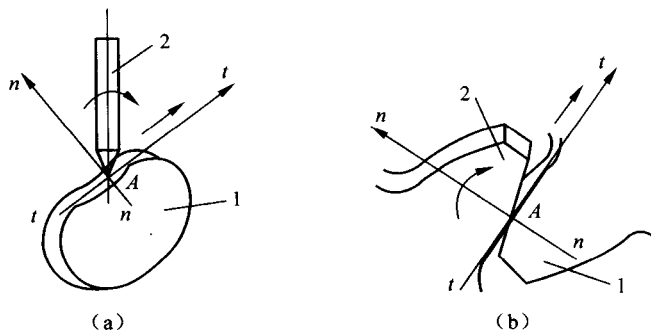


图 1-6 高副

此外,常用的运动副还有球面副、螺旋副,它们都属于空间运动副,即两构件的相对运动为空间运动。

1.1.4 机构中构件的分类及组成

组成机构的构件,根据运动副的性质可分为以下3类。

(1) 固定构件(机架): 机构中用来支撑可动构件的部分。如图1-7所示,压力机机座9是用来支撑齿轮1、齿轮5、滑杆3及冲头8等构件的。在分析机构的运动时,以固定件作为参考坐标系。

(2) 主动件(原动件): 机构中作用有驱动力或驱动力矩的构件。如图1-7所示,齿轮1就是主动件。

(3) 从动件: 机构中除主动件以外的运动构件。如图1-7所示,冲头8就是从动件。

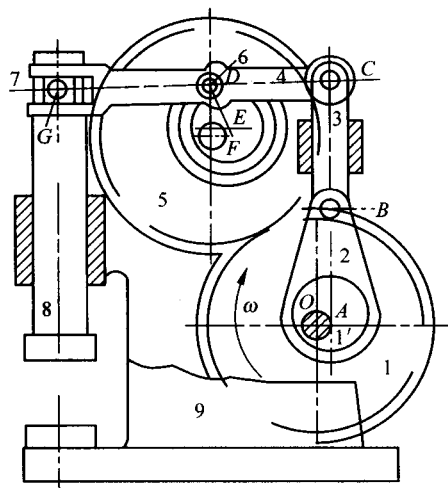


图 1-7 压力机

- 1—支承齿轮 2—连杆 3—滑杆
4—摆杆 5—齿轮 6—滚子
7—滑块 8—冲头 9—压力机机座

1.2 平面机构运动简图

平面机构运动简图是指用规定的符号和线条按一定的比例表示构件的尺寸和运动副的相对位置,并能完全反映机构特征的简图。

1.2.1 机构运动简图与机构简图

机构简图是用特定的构件和运动副符号表示机构的一种简化示意图,仅着重表示结构特征。

由于机构的实际运动不仅与机构中运动副的性质、运动副的数目及相对位置、构件的数目等有关,还与运动副的位置有关,因此,应按一定的长度比例尺确定运动副的位置。用长度比例尺画出的机构简图称为机构运动简图。机构运动简图保持了其实际机构的运动特征,它简明地表达了实际机构的运动情况。

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。如图 1-8 (a) 所示,构件 3 与滑块 2 组成移动副,构件 3 的外形和结构与运动无关,因此可用如图 1-8 (b) 所示的简单线条来表示。如图 1-9 所示为构件的一般表示方法。图 1-9 (a) 表示构件上有两个转动副;图 1-9 (b) 表示构件上具有一个移动副和一个转动副,其中图 1-9 (b) 左图表示移动副的导路不经过转动副的回转中心,右图表示移动副的导路经过转动副的回转中心;图 1-9 (c) 表示构件上有 3 个转动副并且转动副的回转中心不在同一直线上;图 1-9 (d) 表示构件具有 3 个转动副并且分布在同一直线上;图 1-9 (e) 表示构件为固定构件。

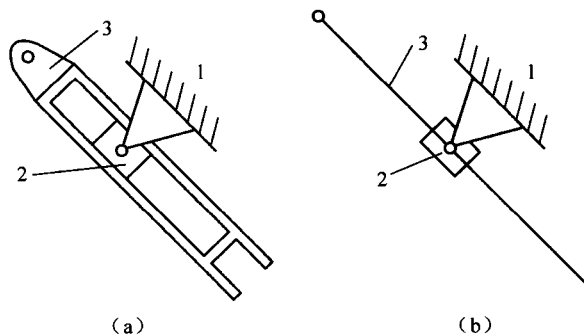


图 1-8 构件的简化示例

1—支架 2—滑块 3—构件