

中等专业学校教材

机械设计基础

丘季清 主编



西北工业大学出版社

内 容 简 介

本书主要内容为：常用机构的分析与设计方法（包括平面机构的运动简图及自由度、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构及轮系）；通用零件的结构、特点、标准和设计方法（包括键联接、螺纹联接和螺旋传动、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轴、轴承、联轴器、离合器及弹簧）；回转件的平衡和电子计算机在机械设计中的应用简介（包括齿轮、轴、轴承及曲柄摆杆机构等设计的 BASIC 源程序）。每章均编有与满足教学和解题需要的图表与资料，章末附有习题。

本书可作为中等专业学校或技术专科学校机械类专业的教材，也可供大专院校师生和有关工程技术人员参考。

中等专业学校教材

机 械 设 计 基 础

主 编 丘季清

责任编辑 于兴旺

西北工业大学出版社出版

（西安市友谊西路 127 号）

陕西省新华书店发行

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0275-X/TH·12(课)

开本 787×1092 毫米 1/16 21.5 印张 2 插页 523 千字

1990 年 9 月第 1 版 1990 年 9 月第 1 次印刷

印数 1—4 600 册 定价：3.22 元



前 言

本教材是根据国家教育委员会 1986 年 10 月审定的中等专业学校工科机械类专业通用的《机械原理与机械零件教学大纲》，结合航空专业教学要求，以 1985 年航空工业部教材编审室出版的《机械设计基础》一书为基础重新修订的。可供 95~115 学时《机械原理与机械零件》课程讲授之用。书中带※号部分为选讲的内容。

全书以常用机构与通用零件划分章节。重点放在对常用机构与通用零件设计方法的阐述及标准的选用上，并特别注重培养学生分析和解决问题的能力。对重点章节的基本原理、基本公式，力求阐述清楚、详尽分析、严密推证，但对繁杂、实用性的公式，则以应用为主。

本书的素材取自有关机械原理及机械零件设计方面的文献资料，并结合多年实践积累的教学经验与教学方法进行编写，其内容系统，深浅适度。书中全部采用最新标准和国家法定计量单位。全书力求文字简练、通俗易懂。为加强直观效果，精选和自行设计直观醒目的插图 340 多幅，并附有与正文相关的设计数据、图表、资料，可满足教与学的需要。为开发学生智力，巩固所学知识，每章均附有一定数量的思考题、基本运算题和与生产实际相联系的综合设计作业题。

为反映现代科学技术成就，培养学生建立优化设计的思想，本书编写了《电子计算机在机械设计中的应用简介》一章，并提供齿轮、轴、滚动轴承等设计计算的 BASIC 设计源程序。可供学生及教师演算作业和课程设计时上机使用。

参加本书编写的有：成都航空工业学校杨学才（绪论、第一、二、三、四章）；上海航空工业学校陈金宝（第五、十七章）；吴志瑜（第六、十六章）；成都航空工业学校隋祥栋（第七、十、十一章）；成都科技大学段欣华（第八、十八章）；西安航空工业技术专科学校丘季清（第九章）；大庸航空工业学校陆贵兴（第十二、十三、十四、十五章）。全书由丘季清担任主编。

本书由同济大学喻怀正教授审阅，他对本书提出不少宝贵的意见和建议。在编写过程中也得到西北工业大学濮良贵教授和上海航空工业学校虞同书同志的热情关怀和指导。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中缺点在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1990 年 2 月

主要符号表

a	加速度、齿轮啮合中心距	T	转矩、扭矩
b	宽度、齿宽	v	线速度
c	径向间隙	w	公法线长度、剖面系数
C	额定动载荷	x	径向变位系数
d	直径、分度圆直径	X	总变位量、系数
D	直径	Y	系数、中心距变动系数、变形量
e	偏心距、分度圆齿槽宽	z	齿轮齿数、蜗杆头数
E	弹性模量	Z	齿数、皮带根数、螺纹工作圈数
f	摩擦系数	α	压力角、分度圆压力角、齿形角、系数、滚动轴承接触角
F	力、自由度数	β	螺旋角
G	重力、剪切弹性模量	γ	传动角、蜗轮轮齿包角
h	升程、全齿高、高度	δ	锥角、转角、厚度
i	传动比	ε	重合度、系数
I_p	极惯性矩	η	效率
k	跨齿数	θ	锥齿角、极位夹角、扭转角
m	模数、局部自由度数	μ	泊松比
M	弯矩	ν	运动粘度
n	转速、活动构件数	ρ	摩擦角、曲率半径
p	压强、比压、齿距(周节)、分度圆齿距	σ	正应力、齿顶高变动系数
P	功率、径节、螺距	Σ	锥齿轮轴交角
P_z	导程	τ	剪切应力、运动系数
q	单位长度质量、蜗杆直径系数	φ	摆角、转角、长径比
r	半径、分度圆半径	Ψ	螺旋升角、摆角
R	半径、锥距	ω	角速度
s	分度圆齿厚、齿厚、附加轴向力、系数		
t	温度、时间		

目 录

绪 论	1
一、我国机械发展概述	1
二、本课程研究的对象和内容	1
三、本课程的作用及学习方法	3
第一章 平面机构的运动简图及自由度	4
§ 1-1 运动副及其分类	4
§ 1-2 平面机构的运动简图	5
§ 1-3 平面机构的自由度及其具有确定运动的条件	7
§ 1-4 计算平面机构自由度时应注意的几种情况	8
习 题	10
第二章 平面连杆机构	13
§ 2-1 铰链四杆机构的类型及其应用	13
§ 2-2 铰链四杆机构存在曲柄的条件	14
§ 2-3 四杆机构的演化	15
§ 2-4 平面连杆机构的急回特性及传力分析	18
§ 2-5 平面四杆机构的设计	21
习 题	25
第三章 凸轮机构	29
§ 3-1 凸轮机构的组成、类型及应用	29
§ 3-2 从动杆常用的运动规律	31
§ 3-3 凸轮轮廓曲线的设计	35
§ 3-4 凸轮机构设计中的几个问题	39
§ 3-5 凸轮机构的结构和材料	42
习 题	44
第四章 间歇运动机构	47
§ 4-1 棘轮机构	47
§ 4-2 槽轮机构	51
习 题	55
第五章 键和花键联接	56
§ 5-1 键联接的功用和分类	56
§ 5-2 平键联接的标准、尺寸和公差	60

§ 5-3 平键联接的强度计算	61
§ 5-4 花键联接	63
习 题	67
第六章 螺纹联接与螺旋传动	68
§ 6-1 螺纹	68
§ 6-2 螺纹联接的基本类型和螺纹联接件	71
§ 6-3 螺旋副的受力分析、自锁和效率	77
§ 6-4 螺纹联接的强度计算	79
§ 6-5 设计螺纹联接时应注意的几个问题	84
§ 6-6 螺旋传动的计算	87
习 题	91
第七章 带传动	93
§ 7-1 三角带传动的工作原理、特点及应用	93
§ 7-2 三角带的规格标准及带轮的结构、材料	94
§ 7-3 带传动设计计算的理论基础	99
§ 7-4 三角带传动的设计准则及单根三角带允许传递的功率	103
§ 7-5 三角带传动的设计	105
§ 7-6 三角带传动的张紧装置	110
习 题	111
第八章 链传动	112
§ 8-1 概述	112
§ 8-2 链传动的零件	112
§ 8-3 链传动的传动比及运动不均匀性	115
§ 8-4 链传动的主要参数及其选择	116
§ 8-5 链传动的设计计算	117
§ 8-6 链传动的布置	119
习 题	121
第九章 齿轮传动	122
§ 9-1 齿轮传动的特点和类型	122
§ 9-2 齿廓啮合的基本定律	122
§ 9-3 渐开线齿廓	125
§ 9-4 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称、主要参数及几何尺寸计算	129
§ 9-5 一对渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	133
§ 9-6 渐开线齿廓切制原理简介	137
§ 9-7 渐开线标准直齿圆柱齿轮的根切现象和最少齿数	140
§ 9-8 齿轮传动的精度简介	142

§ 9-9 渐开线直齿圆柱齿轮的齿厚、公法线和固定弦齿厚的计算	143
§ 9-10 齿轮轮齿的失效形式	148
§ 9-11 齿轮的常用材料	149
§ 9-12 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	151
§ 9-13 变位直齿圆柱齿轮传动	163
§ 9-14 斜齿圆柱齿轮传动	175
§ 9-15 直齿圆锥齿轮传动	185
习 题	192
第十章 蜗杆传动	196
§ 10-1 概述	196
§ 10-2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	198
§ 10-3 蜗杆传动的失效形式及材料选择	202
§ 10-4 蜗杆传动的受力分析	202
§ 10-5 蜗杆传动的强度计算	204
§ 10-6 蜗杆传动的效率及热平衡计算	205
§ 10-7 蜗杆、蜗轮的结构	208
习 题	210
第十一章 轮系	212
§ 11-1 概述	212
§ 11-2 定轴轮系传动比的计算	212
§ 11-3 周转轮系传动比的计算	215
§ 11-4 轮系的应用	221
* § 11-5 其它行星传动简介	222
习 题	225
第十二章 滑动轴承	228
§ 12-1 滑动轴承概述	228
§ 12-2 滑动轴承的类型和构造	229
§ 12-3 轴瓦的结构及常用材料	232
§ 12-4 非液体摩擦滑动轴承的设计与计算	234
§ 12-5 润滑剂和润滑装置	236
§ 12-6 动压液体摩擦滑动轴承简介	239
习 题	241
第十三章 滚动轴承	242
§ 13-1 概述	242
§ 13-2 滚动轴承的基本类型和代号	242
§ 13-3 滚动轴承类型选择	246

§ 13-4 滚动轴承的尺寸选择	247
§ 13-5 滚动轴承的组合设计	259
§ 13-6 滚动轴承与滑动轴承的比较	265
习 题	266
第十四章 联轴器与离合器	268
§ 14-1 概述	268
§ 14-2 联轴器	268
§ 14-3 离合器	275
习 题	278
第十五章 轴	280
§ 15-1 概述	280
§ 15-2 轴的结构设计	282
§ 15-3 轴的强度计算	286
§ 15-4 轴的刚度校核	289
§ 15-5 轴的工作图和技术条件	289
§ 15-6 轴的设计举例	290
习 题	294
第十六章 弹簧	295
§ 16-1 弹簧的功用和类型	295
§ 16-2 弹簧的材料和弹簧的制造	296
§ 16-3 圆柱形螺旋压缩、拉伸弹簧的结构、参数和尺寸	298
§ 16-4 圆柱形螺旋压缩、拉伸弹簧的计算	301
习 题	307
*第十七章 回转件的平衡	308
§ 17-1 回转件平衡的目的	308
§ 17-2 回转件平衡的计算方法	308
§ 17-3 回转件平衡的实验法	312
习 题	312
*第十八章 电子计算机在机械设计中的应用简介	314
§ 18-1 概述	314
§ 18-2 闭式外啮合标准圆柱齿轮传动设计程序分析	314
§ 18-3 介绍两个常用验算程序	323
§ 18-4 曲柄摇杆机构动力学参数优化设计	330
习 题	335
主要参考文献	336

绪 论

一、我国机械发展概述

机械(和其它科学一样)是随着生产力的发展而不断发展的。我国劳动人民在机械发展方面作出了许多杰出的贡献。远在原始社会后期,我们的祖先就发明了简单的纺织机械——纺坠。夏朝的奚仲创造了有辐的车轮。春秋战国时期,已普遍使用杠杆。近期临潼出土的秦代铜车马具有完整的轮、轴、销结构。汉代发明的提花机对欧洲的提花技术产生了深远的影响。自西汉以后,历代又创造了指南车、记里鼓车、起重辘轳、水骨龙车、连机碓和水转翻车等机械装置。在这些机械中,已运用轮系、连杆、凸轮、锥齿轮和差动原理。唐初的李淳风创造的新型浑天黄道仪上装有自动报时器,更显示了我国机械发展的水平。

在人们不断发明和创造机械的过程中,也出现了很多机械方面的专著,如明朝王征所著的《诸器图说》、宋应星所著的《天工开物》等。这些著作总结了我国劳动人民发明创造及使用机械的丰富经验。但由于我国经历了漫长的封建社会,从帝国主义入侵到新中国成立之前,又长期处于半封建半殖民地社会,因而使机械工业和机械设计科学处于极其落后的状态。

新中国成立后,我国机械工业和机械设计科学有了很大的发展。现在已拥有300多万台机床,形成了品种基本齐全的体系。并能自行设计和制造多种高精尖以及自动化的大型设备和基本建设的成套设备。可以预料,在实现“四化”的进程中,机械设计这门学科将会发挥越来越大的作用,并将得到更大的发展。

二、本课程研究的对象和内容

《机械设计基础》是研究机械中的常用机构和通用零部件的工作原理、结构特点 and 设计方法的一门课程。

生产和日常生活中普遍使用着各种机械,如起重机、拖拉机、汽车、飞机、机床和洗衣机等,尽管它们的构造、性能和用途各异,但它们仍具有一些共同的特征。如图0-1所示的牛头刨床,它是由安装在床身10上的电动机1通过带传动(图中未画出)使小齿轮2带动大齿轮3转动。大齿轮3的侧面用销轴与滑块4联接。滑块4和绕定轴转动的滑块6装在导杆5的滑槽中。滑块4随齿轮3转动带动导杆5往复摆动,从而通过导杆5上端的销轴带动刨头7作往复直线运动而进行刨切动作。同时工作台8连同工件作横向进给运动,以便刨刀逐步刨得要加工的平面。工作台的横向进给运动是由棘轮机构(图中未画出)带动丝杠9作间歇转动实现的。通过牛头刨床各构件的协同动作,将电动机的电能最后转换为刨刀切削金属的机械能。

又如图0-2所示的内燃机系由汽缸体1、活塞2、进气阀3、排气阀4、连杆5、曲轴6、凸轮7(两个)、顶杆8(两个)、齿轮9和10等组成。由燃气推动活塞2作往复直线运动,经过连杆5变为曲轴6的连续转动,从而将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。通过与曲轴固连的齿轮10转动与凸轮轴固连的齿轮9,由凸轮控制进气阀3和排气阀4定期开闭,实现定时进气与排气,使内燃机连续地运转。

由上述例子可以看出,机器具有下列共同特征:

1. 它们都是构件的组合

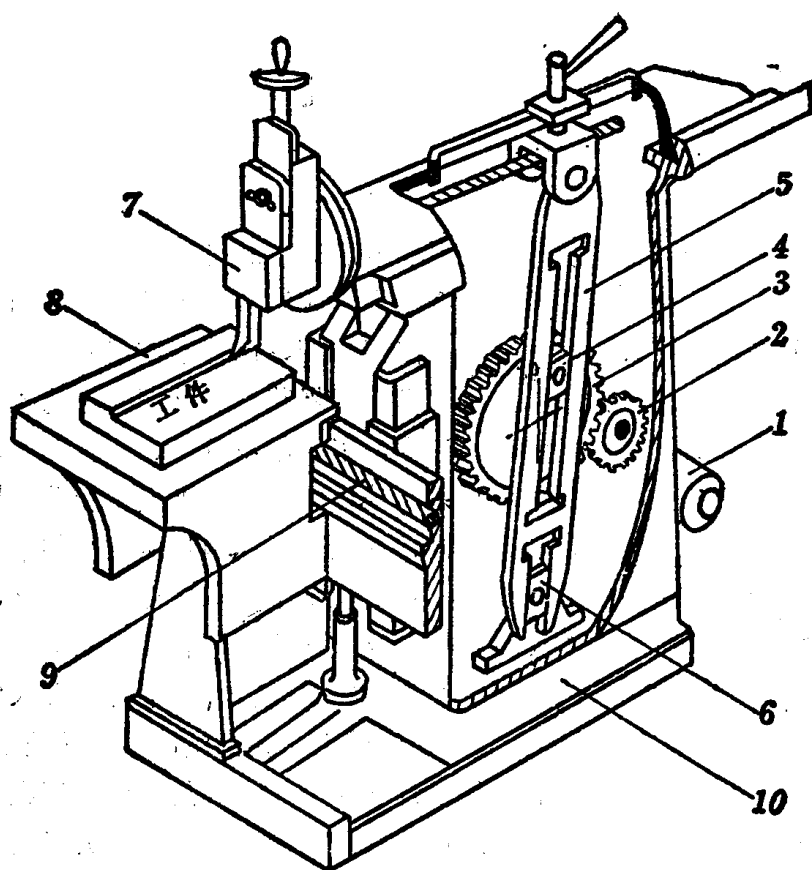


图 0-1

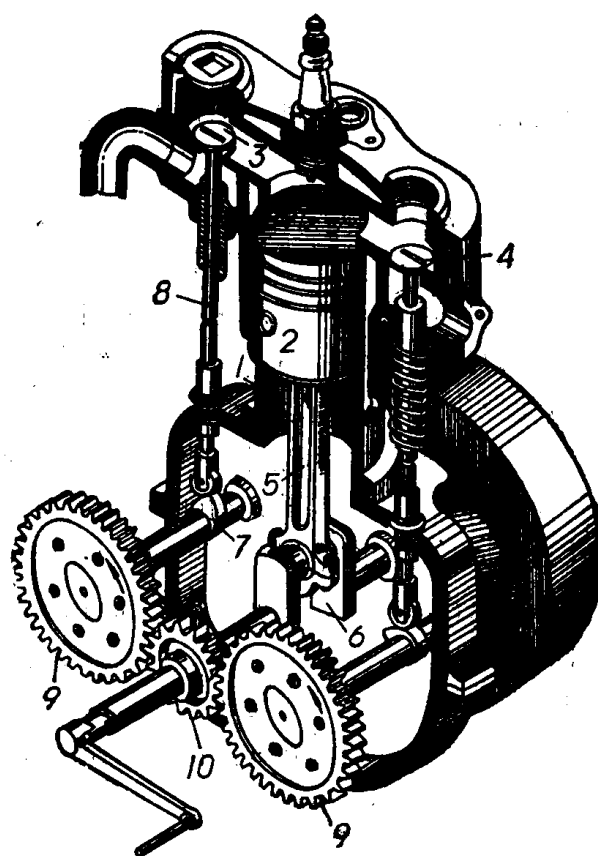


图 0-2

构件是机器的运动单元。它可能是一个零件,也可能是若干零件的刚性组合体。例如图0-3所示的连杆是内燃机中的一个构件,而它则由连杆体1、连杆盖4、螺栓2和螺母3组成彼此无相对运动的刚性组合体,即此构件由四个零件组合成的。

零件是机器的制造单元。它可分为通用零件和专用零件两大类:通用零件是各类机械中常用的零件,如螺栓、齿轮等。专用零件是指某些机械中的特殊零件,如飞机发动机的涡轮叶片,内燃机曲轴等。

2. 各构件之间都具有确定的相对运动。

3. 都能通过能量的转换完成有用的机械功(如打煤机、牛头刨床等),以代替或减轻人们的劳动。

同时具有上述三个特征的称为机器,只具有上述前两个特征的称为机构。机构的作用主要是传递运动和改变运动状态。但从结构和运动的观点来看,机构与机器之间并无区别。因此,为叙述方便,常用“机械”一词作为机器和机构的总称。

任何一台完整的机器均由三个主要部分组成:

(1)原动部分 它们是机械动力的来源,常见的原动部分有电动机、内燃机。

(2)工作部分 它是直接完成工艺动作的部分,如图1中的导杆刨头机构。

(3)传动部分 它是将原动部分的运动和动力传递给工作部分的中间环节,如图1中的齿轮机构、曲柄导杆机构等。

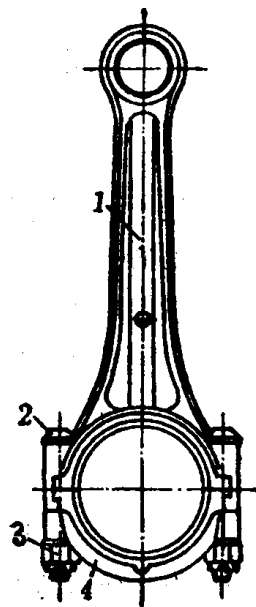


图 0-3

三、本课程的作用及学习方法

本课程是一门重要技术基础课。在机械类各专业的整个教学过程中,起承上启下的作用。它以先修课程数学、物理、理论力学、材料力学、金属工艺学、机械制图等为基础,通过本课程的学习,将为学习专业课打下基础。同时,本课程所学的常用机构和通用零件的设计方法,也可以直接应用于生产实践,无论从事非标准设计或设备更新都离不开这些技能。所以学好本课程对实现祖国“四化”和发展国民经济具有重要的意义。

《机械设计基础》是一门实践性很强的课程。要学好这门课程必须按课程的性质和特点采取正确的学习方法。除了要弄清基本概念、基本原理外,特别要注意下列几点。

1. 本课程是许多先修课程的综合与运用,设计机构或零件,需要运用多学科的知识,既考虑结构的合理性,又要考虑工艺性和经济性。因此要改变学习理论基础课程的那种只从单一角度分析问题的“逻辑思维”方法,而要采用“综合思维”方法,学会从不同角度、不同学科、全面考虑问题的综合分析能力。

2. 本课程的实践性体现在运用先修课程的理论建立常用机构与通用零件的设计方法,为了使理论设计的结果更接近于实际,再针对各种实践条件对理论计算进行必要的修正,这是工程设计的一般方法。因此,学习时应弄清各种设计公式的应用范围和条件,重视修正系数和图表的应用。

3. 重视设计技能的培养。学习过程中要特别重视各种手册、标准资料、经验数据和工艺方法的运用。注意理论设计和类比设计的结合,并经常深入生产实际,加强感性认识。

第一章 平面机构的运动简图及自由度

如绪论所述, 机构是具有确定相对运动的构件的组合。本章主要研究机构的组合及其具有确定运动的条件, 这对分析已有机构或设计新机构是很重要的。

所有构件都在同一平面或相互平行平面内运动的机构称为平面机构, 否则称为空间机构。由于机械中常见的机构多为平面机构, 故本章仅讨论平面机构。

§ 1-1 运动副及其分类

一个作平面运动的自由构件有三个独立运动的可能性。如图 1-1 所示, 自由构件 s 相对 xoy 坐标系可随任意一点 A 沿 x 、 y 轴方向移动和绕该点转动。要确定构件 s 在坐标平面 xoy 上的位置需有三个独立的参变数, 即 A 点的坐标 x_A 、 y_A 和过 A 点处于 xoy 平面内任一直线的倾角 φ 。这种确定构件位置的独立参变数称为构件的自由度。所以, 一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

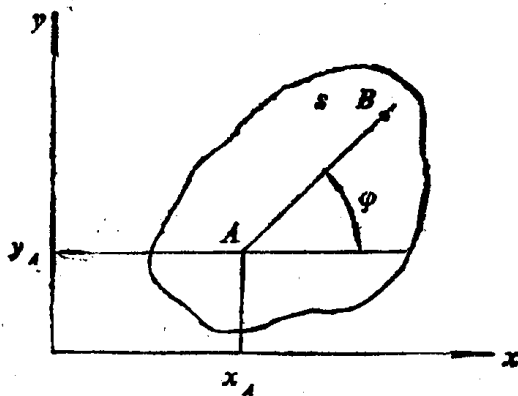


图 1-1

当两个构件以一定的方式联接后, 彼此都不再是自由构件, 它们因直接接触而使相对独立的运动受到某些限制, 自由度随之减少。该限制称为约束。有一个约束, 构件便失去一个自由度; 有两个约束, 构件便失去两个自由度, 依此类推。

两构件直接接触并可能产生一定相对运动的联接称为运动副。
平面运动副按两构件接触特性分为低副和高副两类。

一、低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。低副又可分为转动副和移动副。

1. 转动副

两构件只能组成在一个平面内作相对转动的运动副称为转动副 (或称铰链), 如图 1-2 所示。图 1-2(a) 中有一个构件 1 是固定的, 称为固定铰链; 图 1-2(b) 中两构件均未固定, 称为活动铰链。

2. 移动副:

两构件只能组成沿某一方向线作相对移动的运动副称为移动副, 如图 1-3 所示。

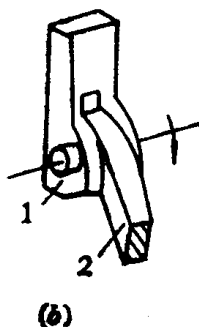
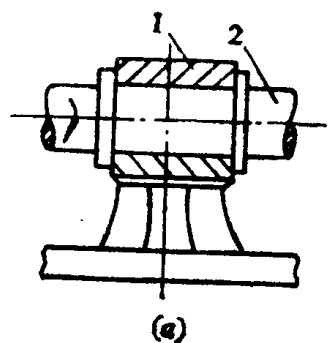


图 1-2

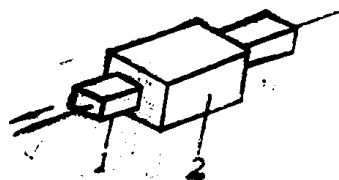


图 1-3

二、高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副，如图 1-4(a) 所示的凸轮 1 与从动杆 2 及图 1-4(b) 所示的齿轮 1 与 2 分别在其接触处组成高副。它们的相对运动是转动和沿接触点处的公切线 $t-t$ 的移动。

由上所述，平面低副具有一个自由度或两个约束；平面高副一般具有两个自由度或一个约束。

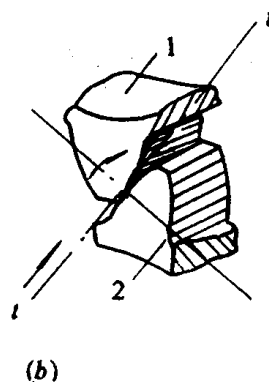
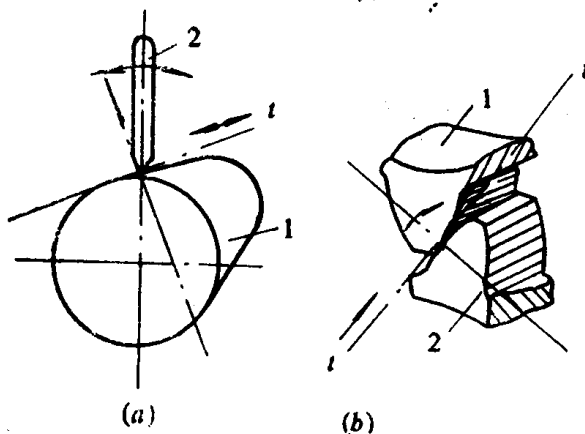


图 1-4

§ 1-2 平面机构的运动简图

机构是由若干构件通过若干运动副组合在一起的。在研究机构运动时，为了便于分析，常常撇开它们因强度结构等原因形成的复杂外形及具体构造，仅用简单的符号和线条表示，并按一定的比例定出各运动副及构件的位置，这种简明表示机构各构件之间相对运动关系的图形称为机构运动简图，常用的运动副代表符号见表 1-1。

根据实际机构绘机构运动简图的步骤是：首先分析机构的组成及运动，确定机架（固定构件）、原动件（由外界给定运动规律的构件）和从动件（随原动件运动的其它活动构件）以及运动副的种类与数目、测量与运动有关的尺寸；然后选择适当的比例尺和视图平面，

表 1-1 常用运动副的代表符号

运动副类别	代 表 符 号	运动副类别	代 表 符 号
两运动构件组成转动副		具有三个转动副的构件	
与固定支座组成转动副		外啮合圆柱齿轮高副	
两运动构件组成移动副		凸轮高副	
与固定支座组成移动副		曲面高副	
具有两个平面低副的构件			

并用运动副的代表符号和简单线条绘出机构运动简图。

【例 1-1】 试绘制图 1-5(a) 所示内燃机的机构运动简图。

解 该机构是由汽缸体 1、活塞 2、连杆 3 及曲轴 4 组成。当活塞上下移动时，通过连杆带动曲轴转动。汽缸体为机架，活塞为原动件，其余为从动件。该机构共有 4 个低副，即构件 1 和 2 组成移动副；构件 2 和 3、3 和 4、1 和 4 分别组成转动副。量出各构件的运动尺寸，采用适当的比例尺 μ_L 。选择图 1-5(a)，所在的平面为视图平面。在图纸上定出各转动副的中心位置和移动副的中心线方位，并用运动副的代表符号及简单线条绘出机构运动简图。如图 1-5(b) 所示。

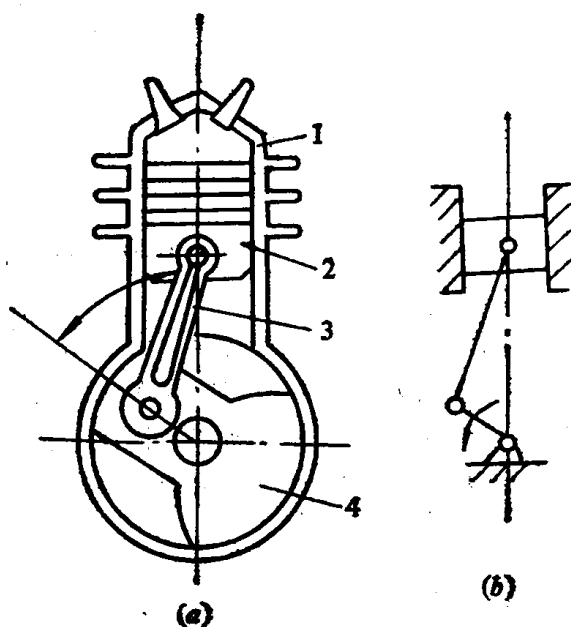


图 1-5

【例 1-2】 试绘制图 1-6(a) 所示的摇拐传动机构的机构运动简图。

解 该机构由摇臂 1，摇拐 2（摇臂 1 与拨杆 3 及转轴 4 固连；摇拐 2 与转轴 5 固连）和机架 6 组成。当轴 4 转动时，通过摇臂拨杆及摇拐带动轴 5 转动。轴 4、5 与机架 6 分别组成转动副；摇拐 2 与拨杆 3 组成高副。量出各构件与运动有关的尺寸，并根据运动尺寸及图幅大小选择适当的比例尺 μ_L 。由于图 1-6(a) 的俯视平面能清楚的表示各构件的运动关系，故选该平面作视图平面。在图纸上定出各转动副的中心位置，用运动副的代表符号及简单线条绘出机构运动简图，如图 1-6(b) 所示。

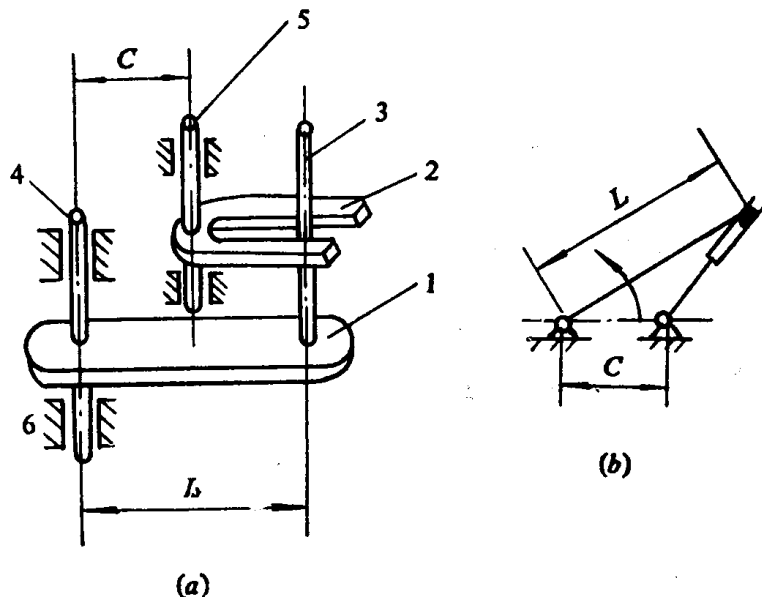


图 1-6

§ 1-3 平面机构的自由度及其具有确定运动的条件

由前述已知，一个作平面运动的自由构件具有三个自由度。若一个平面机构共有 n 个活动构件。在未用运动副联接前，则活动构件自由度的总数为 $3n$ 。当用运动副将这些活动构件与机架联接组成机构后，则各活动构件具有的自由度受到约束。设该机构中有 P_L 个低副和 P_H 个高副，则受到的约束，即减少的自由度总数应为 $2P_L + P_H$ 。因此，该机构相对于固定构件的自由度数应为活动构件的自由度总数与引入运动副后减少的自由度总数之差，该差值称为机构的自由度并以 F 表示，即

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

由式 (1-1) 可知，机构要能运动，它的自由度必须大于零。机构的自由度表明机构具有的独立运动数。由于每一个原动件只可从外界接受一个独立运动规律（如内燃机的活塞具有一个独立的移动），因此，当机构的自由度为 1 时，只需有 1 个原动件；当机构的自由度为 2 时，则需有两个原动件。故机构具有确定运动的条件是：原动件数目应等于机构的自由度数。

【例 1-3】 试计算图 1-7 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，即 $P_L = 7$ ，没有高副， $P_H = 0$ ，由式 (1-1) 可得机构的自由度为：

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

【例 1-4】 试计算图 1-8 所示牛头刨床工作机构的自由度。

解 该机构的构件总数 $N = 7$ ，其活动构件 $n = 6$ ，组成的运动副 $P_L = 8$ （5 个转动副、3 个移动副）， $P_H = 1$ 。由式（1-1）可得机构的自由度为：

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 6 - 2 \times 8 - 1 = 1$$

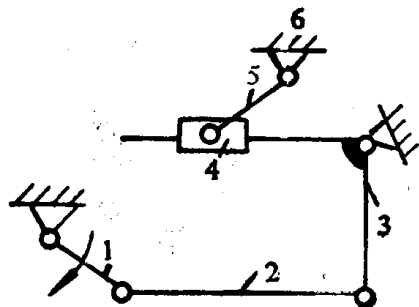


图 1-7

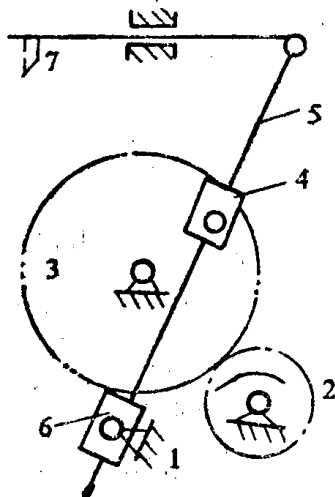


图 1-8

§ 1-4 计算平面机构自由度时应注意的几种情况

一、复合铰链

如图 1-9(a) 所示，构件 1 与构件 2、3 组成两个转动副 A 、 B ，当 A 与 B 之间的距离缩小到零时，转动副 A 、 B 的轴线重合，得图 1-9(b) 所示的复合铰链。图 1-9(c) 为该复合铰链的侧视图。由三个构件组成的复合铰链将包含两个转动副，即 $3 - 1 = 2$ 。因此，由 K 个构件组成的复合铰链包含的转动副数目应为 $(K - 1)$ 个。

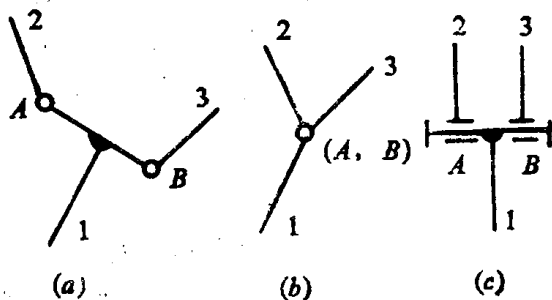


图 1-9

二、局部自由度

在机构中，某些构件具有不影响其它构件运动的自由度，称为局部自由度。如图 1-10 所示的凸轮机构，活动构件 $n = 3$ ，低副 $P_L = 3$ ，高副 $P_H = 1$ ，按式（1-1）得该机构的自由度应为

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

这表明要有两个原动件，该机构的运动才能确定。事实上当凸轮 1 作为原动件转动时，从动件 3 就具有确定的运动，即表明该机构的自由度为 1。多余的自由度是滚子 2 绕其中心 c 转动带来的局部自由度，它并不影响整个机构的运动，在计算机构的自由度时，应该除掉。若把滚子 2 与杆件 3 焊为一体，则杆件 3 的运动与滚子不与它焊成整体的运动完全一样。滚子的转动主要是把高副处的滑动摩擦变成滚动摩擦，以减少磨损。

设一个机构中有 m 个局部自由度，则计算机构的自由度时应将式 (1-1) 改写为

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

三、虚约束

在运动副所加的约束中，有些约束所起的限制作用是重复的，这种重复而不起独立限制作用的约束称为虚约束。应用式 (1-1) 计算这类机构的自由度时，虚约束应除去不计。

平面机构的虚约束常见下列四种情况

1. 两构件构成多个移动副，其导路互相平行，只有其中一个移动副起独立的约束作用，其它为虚约束。如图 1-11 所示曲柄滑块机构，滑块 C 与固定件组成两条平行道路 ($xx//x'/x'$) 的移动副，在计算运动副的数目时，这两个移动副只能计算其中一个。

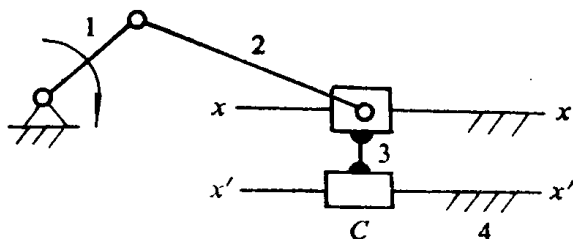


图 1-11

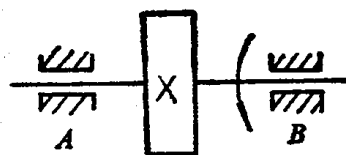


图 1-12

2. 两构件组成多个转动副，其轴线相互重合时，只有其中一个起约束作用，其它都是虚约束。如图 1-12 所示的轮轴机构，轴与机架组成两个转动副 A 、 B ，只有其中一个起独立地约束作用，另一个在计算机构的自由度时，应除去不计。

3. 机构中对传递运动不起独立作用的对称部分的约束是虚约束。如图 1-13 所示的行星轮机构，为了受力均衡，采用了两个对称布置的行星轮 2 及 2'，在计算该机构的自由度时，只能算其中一个引起的约束。

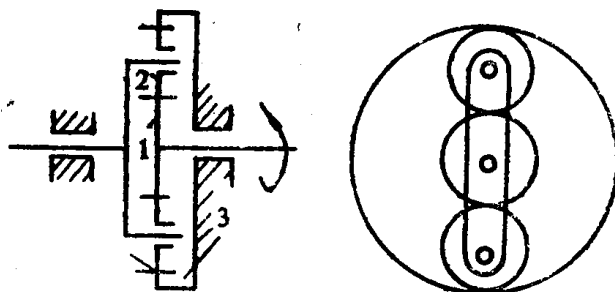


图 1-13

4. 在机构中，若被联接到机构上的构件，在联接点处的运动轨迹与机构上该