



高职高专“十一五”规划教材

机械设计基础

周海波 周琪甦 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

机械设计基础

周海波 主编
周琪甦



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材将“工程力学”和“机械原理与机械零件”的内容整合在一起,从而方便任课教师合理分配两门课程的课时,内容以常用机构和通用零件为主线,穿插工程力学的必需内容,可归纳为机构的工作原理、基本理论;通用零件的结构,基本知识;力学的基本理论。论述过程中列举大量实例,重在工程实际应用,理论和公式推导从简,每章后配有习题,帮助学生复习巩固。

本书是针对“新型纺织机电技术”专业编写的,可作为纺织类院校机电专业相关课程的教材,参考学时数为80~100学时。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/周海波,周琪甦主编. —北京:化学工业出版社,2007.8
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-00882-4

I. 机… II. ①周…②周… III. 机械设计-高等学校:技术学院-教材 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第114720号

责任编辑:王金生 高 钰 袁俊红 装帧设计:华审视觉
责任校对:徐贞珍

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京市彩桥印刷有限责任公司

装 订:三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15¼ 字数420千字 2007年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:24.00元

版权所有 违者必究

前 言

为适应高等职业教育教学改革和新的课程设置的需要,体现高职院校特色专业建设和精品课程建设的成果,根据教育部《高职高专教育机械设计基础课程教学基本要求》,努力贯彻高职教育基本理论以“必需、够用”为度的原则,结合多年的教学经验,编写了本教材。

本书特色:

① 在内容的选取和安排上,以常用机构和通用零件为主线,将“工程力学”和“机械原理与机械零件”有机地结合在一起,突出特点,强调针对性。

② 理论推导从简,重在工程实际应用,以介绍基本内容为主,配合例题巩固,强调知识的应用和能力的培养,适应了教学计划分配给本课程课时少的趋势,本教材参考课时为80~100学时。

③ 适当增加了机构在新型设备中的应用,适当介绍机构和零件的新型式、新结构,以满足技术应用人才培养需求。

④ 每章后均附有习题,帮助学生复习巩固所学知识。

参加本书编写的有南通纺织职业技术学院周琪甦(绪论,第1、4、5、6、12章),周海波(第2、3章,第15章的2~4节),鲍燕伟(第9、11、16、17章),符爱红(第7、8章),保慧(第14章,第15章的1、5~10节),桑志高(第13章),梁海峰(第10章),全书由周海波和周琪甦主编,负责统稿。

由于编者水平有限,缺点、不妥之处在所难免,望读者不吝指正。

编者

2007年5月

目 录

绪论	1	5.6 凸轮的结构及安装	85
第1章 机构具有确定运动的条件	3	习题	87
1.1 机构的组成	3	第6章 其它常用机构	89
1.2 机构运动简图	5	6.1 棘轮机构	89
1.3 平面机构的自由度	10	6.2 槽轮机构	91
1.4 机构组成原理	15	6.3 螺旋机构	93
习题	16	6.4 不完全齿轮机构	95
第2章 平面构件的静力分析	19	习题	96
2.1 静力学基本概念	19	第7章 杆件轴向拉压时的强度计算	97
2.2 静力学公理	19	7.1 材料力学的基本概念	97
2.3 约束和约束反力	21	7.2 杆件轴向拉压时的内力和应力	98
2.4 物体受力分析和受力图	23	7.3 材料拉伸、压缩时的力学性能	101
2.5 力在直角坐标轴上的投影	24	7.4 材料拉伸、压缩时的强度计算	105
2.6 力矩	25	习题	106
2.7 力偶和平面力偶系	29	第8章 弯曲	109
2.8 平面任意力系	31	8.1 弯曲的概念和内力	109
2.9 空间力系	34	8.2 平面弯曲时的应力和强度计算	111
2.10 摩擦	37	8.3 提高梁弯曲强度的措施	116
习题	43	习题	117
第3章 平面机构的运动分析	46	第9章 带传动和链传动	119
3.1 点的运动	46	9.1 带传动	119
3.2 刚体的基本运动	49	9.2 三角带轮的结构	121
3.3 点的合成运动	52	9.3 考虑摩擦时的平衡条件	122
3.4 刚体的平面运动	53	9.4 柔带欧拉公式	122
习题	55	9.5 带传动的传动特性	123
第4章 平面连杆机构	57	9.6 带传动的设计	124
4.1 平面四连杆机构的基本形式	57	9.7 V带传动的张紧与维护	129
4.2 平面四连杆机构曲柄存在条件	59	9.8 链传动简介	130
4.3 平面四连杆机构的演变形式	60	习题	131
4.4 平面四连杆机构的基本特性	64	第10章 齿轮传动	132
4.5 平面四连杆机构的设计	68	10.1 齿轮传动的类型和特点	132
4.6 平面四连杆机构的结构	70	10.2 齿廓啮合基本定律	133
4.7 平面多杆机构简介	73	10.3 渐开线及渐开线齿廓	133
习题	74	10.4 齿轮传动几何计算	135
第5章 凸轮机构	75	10.5 齿轮传动	136
5.1 凸轮机构的组成、应用和特点	75	10.6 斜齿轮传动	138
5.2 凸轮机构的分类	75	10.7 直齿圆锥齿轮传动	141
5.3 从动杆常用的运动规律	77	10.8 齿轮传动的受力分析	143
5.4 凸轮轮廓曲线设计	80	10.9 齿轮传动的失效形式	145
5.5 凸轮机构设计中应注意的问题	83	10.10 常用齿轮材料及其许用应力	146

10.11 齿轮传动的设计计算	150	14.3 销联接	202
10.12 蜗杆传动	161	习题	204
习题	163	第 15 章 轴及轴承	205
第 11 章 机械变速传动	166	15.1 轴的类型及其材料	205
11.1 机械变速传动的分类	166	15.2 圆轴扭转的概念和内力	207
11.2 有级变速器	166	15.3 圆轴扭转时的应力和强度计算	210
11.3 无级变速器	167	15.4 弯扭组合变形的强度计算	213
习题	169	15.5 转轴的强度计算	215
第 12 章 轮系	170	15.6 滑动轴承	217
12.1 轮系的特点和类型	170	15.7 滚动轴承类型和代号	218
12.2 定轴轮系传动比计算	172	15.8 滚动轴承的寿命计算	221
12.3 轮系在纺织机械中的应用	178	15.9 滚动轴承的组合设计	229
习题	180	15.10 润滑和密封	232
第 13 章 机械零件设计概述	183	习题	235
13.1 机械设计的基本要求和一般步骤	183	第 16 章 联轴器和离合器	237
13.2 机械零件的失效形式和设计准则	185	16.1 联轴器	237
13.3 机械零件常用材料及其选用原则	187	16.2 离合器	238
13.4 钢的热处理	188	习题	240
13.5 结构工艺性	194	第 17 章 弹簧	241
13.6 机械设计中的标准化	197	17.1 弹簧的类型和应用	241
习题	197	17.2 圆柱形螺旋弹簧的结构	242
第 14 章 联接	198	习题	243
14.1 螺纹联接	198	参考文献	244
14.2 键联接	201		

绪 论

机械是机器和机构的总称，本课程研究机器和机构的一般原理，研究组成机器的零件，研究机械的基础理论和基本知识。

(1) 机器 在日常生活和生产中，我们接触过多种机器，如汽车、纺纱机、织布机、洗衣机等，从这些机器中可以抽象出一般概念，即机器的特征：

① 机器是人为实物的组合，而不是自然之物。

② 机器中的各部分作确定的相对运动，这种相对运动可以是机器相对其它参照物的相对运动，如汽车相对地面运动；可以是机器内部各部分之间的相对运动，如织布机、洗衣机。

③ 机器可以实现人所期望的机械能的变换和传递。

机器可以简单，如洗衣机；可以十分复杂，如飞机、织布机。机器由下列四部分组成。

① 原动部分，原动部分是机器动力的来源，常用的原动机有电动机、液压机。

② 执行部分，如织布机的打纬机构，将纬纱推向织口。

③ 传动部分，如织机通过带传动将电动机的转动传给打纬机构的曲柄。

④ 控制和操纵部分，现代机器使用各种控制系统使原动部分、执行部分、传动部分协调工作。操纵部分如机器的按钮。

图 0-1 为挖掘机，工作时，汽车里的高压泵由内燃机带动打出高压油，成为原动部分，高压油驱动油缸里的活塞 K_1 和 K_2 ，通过一系列杆件产生复杂运动，实现了从活塞往复运动到挖掘斗 S 平面复杂运动的转变，成为传动部分。挖掘斗 S 在空中做确定运动，挖掘泥土完成预定工作。而司机在驾驶室中通过操纵杆来协调 K_1 和 K_2 的运动。

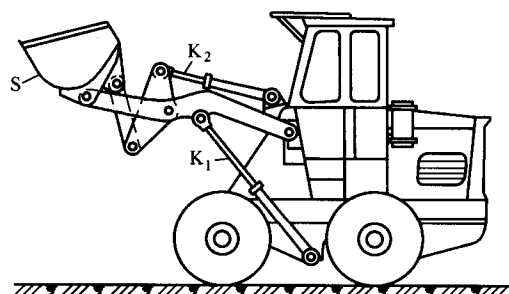


图 0-1 挖掘机

K_1 、 K_2 —活塞； S —挖掘斗

(2) 机构 大多数机器有传动部分，比较自行车和摩托车，链传动传递中心轴与后轮轴

之间的运动和动力。比较缝纫机和织布机，家用缝纫机将踏脚的摆动转换成大带轮的转动，如图 0-2 所示为织布机的打纬机构，带传动将电动机的转动传递给织布机的主轴，打纬机构将织

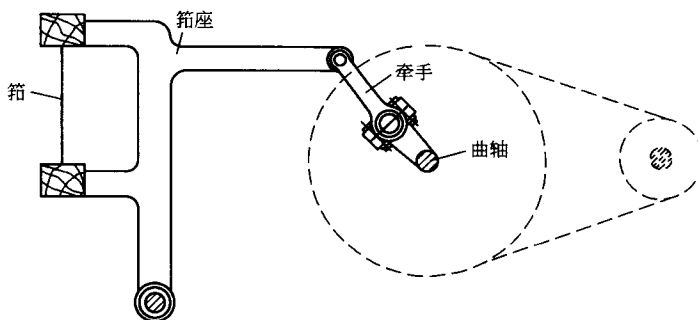


图 0-2 织布机的打纬机构

机主轴的转动转换成筘座的摆动，筘将纬纱推向织口。驱动运动都是通过一些组合的构件传递到执行件上去的，不考虑这些构件组合的具体用途，人们可以发现具有共性的部分，并称之为机构。机构的定义为：

- ① 机构是人为构件的组合体，且构件数在 3 件以上。
- ② 组成机构的各构件之间具有确定的相对运动。

第 1 章 机构具有确定运动的条件

1.1 机构的组成

1.1.1 运动副

机构中各个构件之间必须有确定的相对运动，因此，构件的连接既要使两个构件直接接触，又能产生一定的相对运动，这种两构件直接接触的活动连接称为运动副。图 1-1 分别为平面机构中常用的转动副（或称回转副、铰链）和移动副。两构件上直接参与接触而构成运动副的部分——点、线、面称为运动副元素。

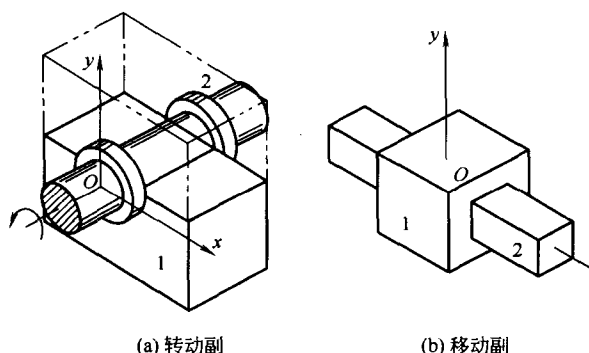


图 1-1 转动副和移动副

1.1.2 构件和零件

机构由具有确定相对运动的运动单元——构件组成，根据构件含有运动副元素的数量，构件可分为：二副元素构件，即含二个运动副元素，如图 1-2(a) 所示；三副元素构件，即含三个运动副元素，如图 1-2(b) 所示；以此类推，实际机构中常用的为二副构件和三副构件。

零件是机器中的制造单元，构件可以是一个零件，也可以由若干个零件组成。图 1-3 所示为连杆机构中的一个构件——连杆。

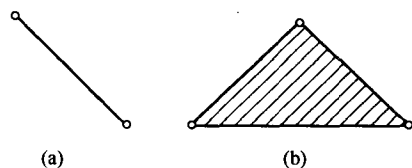


图 1-2 构件

1.1.3 运动链

两个以上的构件通过运动副联接而成的系统称为运动链。运动链分为闭式运动链和开式运动链两种。闭式运动链是指组成运动链的每个构件至少包含两个运动副，组成一个首尾封闭的系统，如图 1-4(a)、(b) 所示。开式运动链是指运动链中有的构件只包含一个运动副元素，它们不能组成一个封闭的系统，如图 1-4(c)、(d) 所示。

1.1.4 机构

如果将运动链中的一个构件固定作为参考系，另一个或几个构件按给定的运动规律相对于固定构件运动，且其余构件都具有确定运动时，运动链则成了机构，如图 1-5 所示为平面铰链四杆机构。

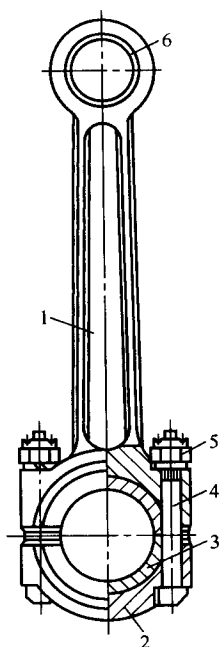


图 1-3 连杆

1—连杆体；2—连杆盖；3—轴瓦；
4—螺栓；5—螺母；6—轴套

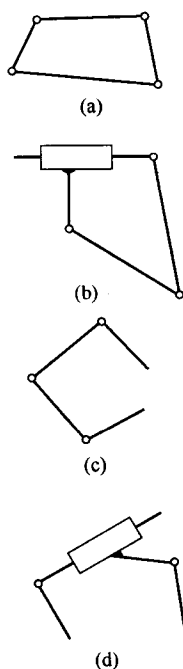


图 1-4 运动链

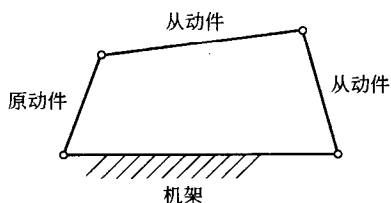


图 1-5 平面铰链四杆机构

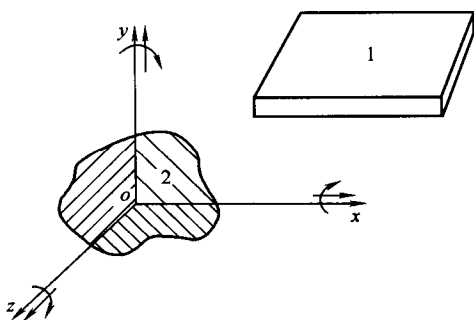


图 1-6 构件作空间运动时的自由度

机构中固定不动的构件称为机架，机架相对地面可以是固定的，也可以是运动的（如在汽车、飞机等中的机构）。机构中按给定运动规律运动的构件称为原动件（或称为主动件），其余随原动件运动的构件称为从动件。

组成机构的各构件都在相互平行的平面内运动的机构称为平面机构，否则称为空间机构。由于常用的机构大多为平面机构，所以本章仅讨论平面机构具有确定运动的条件。

1.1.5 运动副的分类

(1) 根据运动副引入的约束数分类 如图 1-6 所示，在空间有两个构件 1 和 2，构件 2 固定于坐标系 $oxyz$ 上，当构件 1 未与构件 2 组成运动副之前，构件 1 相对于构件 2 可以沿 x 、 y 、 z 轴移动和绕 x 、 y 、 z 轴转动。构件的这种独立运动数目称为自由度。由此可见，作空间自由运动的构件具有六个自由度。

如图 1-7 所示，在平面坐标系中有两个构件 1 和 2，构件 2 固定于坐标系 oxy 上，当构件

1 未与构件 2 组成运动副之前, 构件 1 相对于构件 2 可以沿 x 、 y 轴移动和绕垂直于 xoy 平面的轴转动。由此可见, 作平面自由运动的构件具有三个自由度。

当构件 1 与构件 2 组成运动副后, 由于运动副元素的接触, 使某些原有的独立的相对运动受到限制, 对构件独立运动的限制称为约束。构件受到约束后自由度减少, 每加上一个约束, 便失去一个自由度, 自由度与约束数之和等于 3。

根据运动副提供的约束数目不同, 将运动副分为高副和低副。

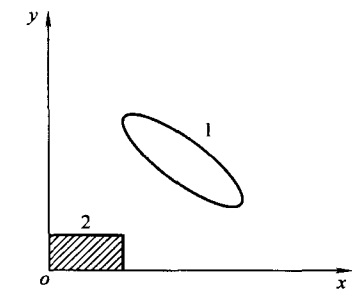


图 1-7 构件作平面运动时的自由度

(2) 根据构成运动副的两构件的接触情况分类 以面接触的运动副称为低副, 如图 1-1 所示, 点或线接触的运动副称为高副, 如图 1-8 所示为平面高副。

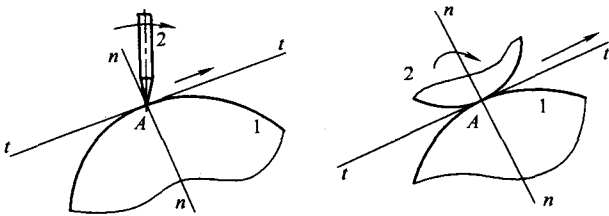


图 1-8 平面高副

1.2 机构运动简图

1.2.1 运动简图

无论是对现有机构进行分析, 还是构思新机械的运动方案和对组成机械的各机构作进一步的运动及动力设计与分析, 都需要一种表示机构的简明图形。由于从原理方案设计的角度看, 机构能否实现预定的运动和功能, 是由原动件的运动规律、联接各构件的运动副类型和机构的运动尺寸 (即各运动副之间的相对位置尺寸) 来决定, 而与构件及运动副的具体结构、外型 (高副机构的轮廓形状除外)、端面尺寸、组成构件的零件数目及固联方式等无关, 因此, 可用国标规定的简单符号和线条代表运动副和构件, 并按一定的比例尺表示机构的运动尺寸, 绘制出表示机构的简明图形。这种图形称为机构运动简图。它完全能表达原机械具有的运动特性。

若只是为了表明机械的组成状况和结构特征, 也可以不严格按比例来绘制简图, 这样的简图通常称为机构示意图。

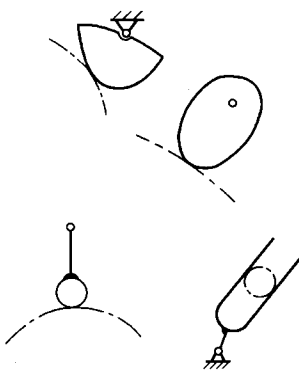
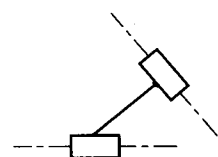
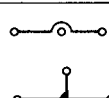
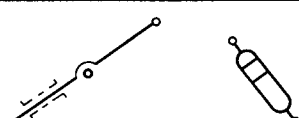
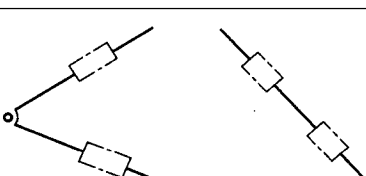
1.2.2 运动简图符号

机构运动简图中及其以运动副相联接的表达方法见表 1-1。机械中常见的凸轮机构、齿轮机构及原动机的简图符号见表 1-2。

表 1-1 构件及其以运动副相联接的表达法

名 称	表示内容	常用 符 号	备 注
机架			

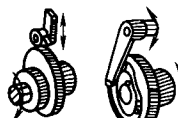
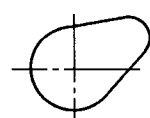
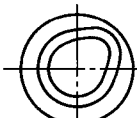
名 称	表 示 内 容	常 用 符 号	备 注
固定联接	构件的永久联接		
	构件与轴的固定联接		
可调联接			
两构件以运动副相联接 (两构件与一内副) ^①	两活动构件以转动副联接		
	活动构件与机架以转动副相连接		
	两活动构件以移动副相联接		
	活动构件与机架以移动副相联接		
	两活动构件以平面高副相连接		
	活动构件与机架以平面高副相联接		
双副构件(一构件与两外副) ^②	带两个转动副的构件		
	带一个转动副一个移动副的构件		点画线代表以移动副与其相联接的其它构件

名 称	表示内容	常用符号	备 注
双副构件(一构件与两外副)	带一个转动副一个平面高副的构件		点画线代表的平面高副与其相联接的其它构件
	带两个移动副的构件		
	偏心轮		可用曲柄代替
三副构件(一构件与三外副)	带三个转动副形成封闭三角形的构件		
	带三个转动副的杆状构件		
	带两个转动副一个移动副的构件		
	带一个转动副两个移动副的构件		点画线代表的意义同前①②

① 内副为联接所讨论的两个构件的运动副；

② 外副是指该构件可与其它构件相联接的运动副。

表 1-2 常见的凸轮机构、齿轮机构及原动机的简图符号

名 称	立体图形	基本符号	可用符号
凸轮机构(平面凸轮) (a) 盘形凸轮			

名 称	立 体 图 形	基 本 符 号	可 用 符 号
(b)移动凸轮			
齿轮机构 (a)圆柱齿轮机构		外啮合 内啮合 	
(b)非圆齿轮机构			
(c)锥齿轮机构			
(d)交错轴斜齿轮机构			
(e)蜗杆蜗轮机构			
(f)齿轮齿条机构			
原动机 (a)通用符号(不指明类型) (b)电动机(一般符号) (c)装在支架上的电动机			

1.2.3 机构运动简图画法

机构运动简图的绘制方法和步骤如下。

① 分析机械的动作原理、组成情况和运动情况，确定其组成的各构件，何为原动件、支架、执行部分和传动部分。

② 沿着运动传递路线，逐一分析每两个构件间相对运动的性质，以确定运动副的类型和数目。

③ 恰当地选择运动简图的视图平面。通常可选择机械中多数构件的运动平面为视图平面，必要时也可选择两个或两个以上的平面，然后将其展到同一视图上。

④ 选择适当的比例尺 μ_l [$=$ 实际尺寸(m)/图示长度(mm)]，定出各运动副的相对位置，并用各运动副的代表符号、常用机构的运动简图符号和简单线条，绘制机构运动简图。从原动件开始，按传动顺序标出各构件的编号和运动副的代号。在原动件上标出箭头以表示其运动方向。

下面以图 1-9 所示的小型压力机为例，具体说明运动简图的绘制方法。

首先，分析机构的组成、动作原理和运动情况。由图 1-9 左图可知，该机构是由偏心轮 1，齿轮 1'，杆件 2，3，4，滚子 5，槽凸轮 6，齿轮 6'，滑块 7，压头 8，机座 9 所组成。其中，齿轮 1' 和偏心轮 1 固结在同一转轴 A_0 上，它们是一个构件。即压力机机构由 9 个构件组成，其中，机座 9 为机架。运动由偏心轮 1 输入，分两路传递：一路由偏心轮 1 经杆件 2 和 3 传至杆件 4；另一路由齿轮 1' 经齿轮 6'、槽凸轮 6、滚子 5 传至杆件 4。两路运动经杆件 4 合成，经滑块 7 传至压头 8，使压头作上下移动，实现冲压动作。由以上分析可知，构件 1-1' 为原动件，构件 8 为执行部分，其余为传动部分。

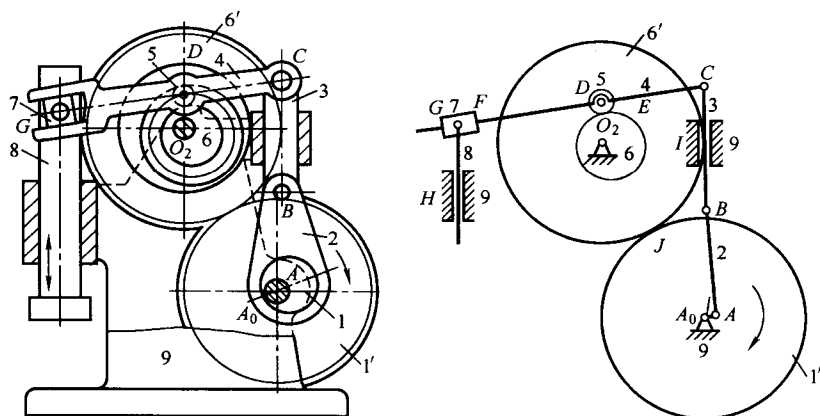


图 1-9 小型压力机机构运动简图

1—偏心轮；2~4—杆件；5—滚子；6—槽凸轮；
7—滑块；8—压头；9—机座；1'，6'—齿轮

然后，分析各连接构件之间相对运动的性质，确定各运动副的类型。由图可知，机架 9 和构件 1-1'、构件 1 和 2、2 和 3、3 和 4、4 和 5、6-6' 和 9、7 和 8 之间均构成转动副；构件 3 和 9、8 和 9 之间分别构成移动副；而齿轮 1' 和 6'、滚子 5 和槽凸轮 6 分别形成平面高副。

最后，选择视图投影面和比例尺 μ_l ，测量各构件尺寸和各运动副间的相对位置，用表达构件和运动副的规定简图符号绘制出机构运动简图。在原动件 1-1' 上标出箭头以表示其转动方向，如图 1-9 右图所示。

需要指出的是，在计算机技术迅速发展和计算机应用日益普及的今天，利用计算机绘制机

构运动简图不仅非常方便，而且可以通过动态仿真来观察机构的运动情况。

【例 1.1】 图 1-10 所示为喷水织机中的 zero-max 送经机构中的连杆机构，左图是结构示意图，右图为机构运动简图。

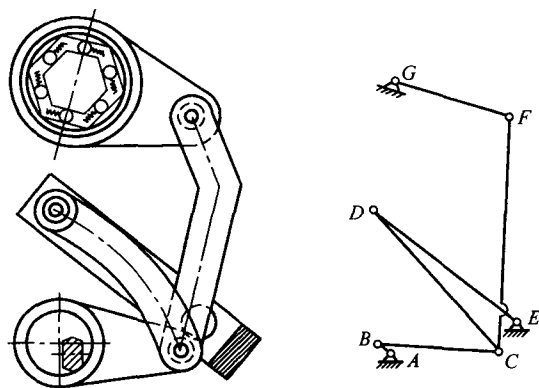


图 1-10 zero-max 送经机构中的连杆机构

【例 1.2】 图 1-11 所示为 P7100 片梭织机扭力杆摆动后梁送经机构，左图为结构示意图，中图为机构运动简图，右图为局部放大图。

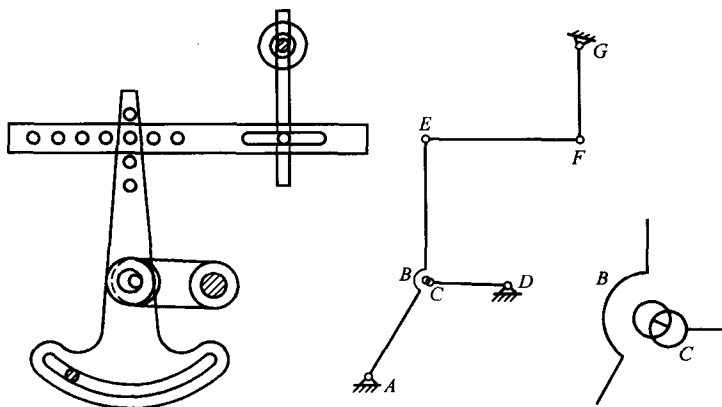


图 1-11 P7100 片梭织机扭力杆摆动后梁送经机构

1.3 平面机构的自由度

1.3.1 平面机构的自由度

机构自由度是指机构中各构件相对于机架所具有的独立运动参数。由于平面机构的应用特别广泛，所以下面仅讨论平面机构的自由度计算问题。

机构的自由度与组成机构的构件数目、运动副的类型及数目有关。

设某一平面机构，共有 n 个活动构件，用 P_l 个低副和 P_h 个高副把活动构件之间、活动构件与机架之间联接起来。在用运动副将所有构件联接起来前，这些活动构件在空间共具有 $3n$ 个自由度；联接后，这些运动副共引入了 $2P_l + P_h$ 个约束（一个低副有两个约束条件，一个高副有一个约束条件）。由于每引入一个约束构件就失去一个自由度，因此，机构的自由度可按式计算

$$F=3n-2p_l-p_h$$

(1-1)

1.3.2 机构具有确定运动的条件

图 1-12 所示为一铰链四杆机构。 $N=3$, $P_l=4$, $P_h=0$, 由式 (1-1) 得

$$F=3n-2p_l-p_h=3\times 3-2\times 4-0=1$$

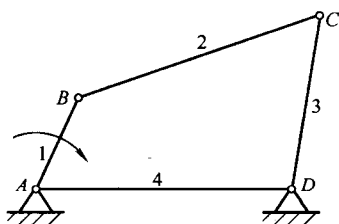


图 1-12 铰链四杆机构

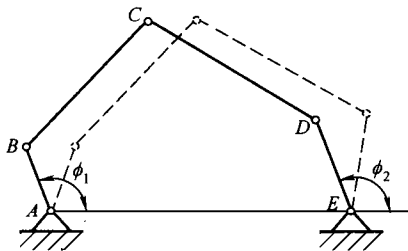


图 1-13 铰链五杆机构

此机构的自由度为 1, 即机构中各构件相对于机架所能有的独立运动数目为 1。

通常机构的原动件都是用转动副和移动副与机架相联, 因此每一个原动件只能输入一个独立运动。设构件 1 为原动件, 构件 1 的转角参变量 ϕ_1 表示构件 1 的独立运动, 由图 1-12 可见, 每给定一个 ϕ_1 的数值, 从动件 2、3 便有一个确定的相应位置。由此可见, 自由度等于 1 的机构在具有一个原动件时运动是确定的。

图 1-13 所示为一铰链五杆机构。 $n=4$, $p_l=5$, $p_h=0$, 由式 (1-1) 得

$$F=3n-2p_l-p_h=3\times 4-2\times 5-0=2$$

如果只有构件 1 为原动件, 则当构件 1 处于 ϕ_1 位置时, 由于构件 4 的位置不确定, 所以构件 2 和 3 可以处在图示的实线位置或虚线位置, 也可处在其它位置, 即从动件的运动是不确定的。

若取构件 1 和 4 为原动件, ϕ_1 和 ϕ_2 分别表示构件 1 和 4 的独立运动。如图所示, 每当给定一组 ϕ_1 和 ϕ_2 的数值, 从动件 2 和 3 便有一个确定的相应位置。由此可见, 自由度等于 2 的机构在具有两个原动件时才有确定的相对运动。

如图 1-14 所示构件组合中, $n=4$, $p_l=6$, $p_h=0$, 由式 (1-1) 得

$$F=3n-2p_l-p_h=3\times 4-2\times 6-0=0$$

该构件组合的自由度为零, 所以是一个刚性桁架。

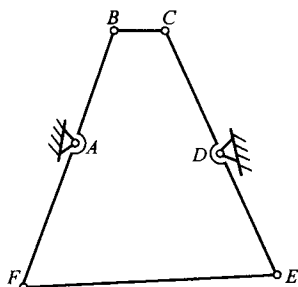


图 1-14 刚性桁架

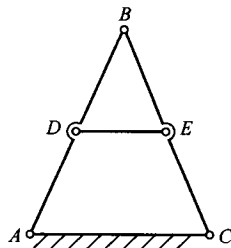


图 1-15 超静定桁架

又如图 1-15 所示构件组合中, $n=3$, $p_l=5$, $p_h=0$, 由式 (1-1) 得

$$F=3n-2p_l-p_h=3\times 3-2\times 5-0=-1$$

该构件组合的自由度小于零, 说明它所受的约束过多, 已成为超静定桁架。