



中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

机械设计基础

jixie sheji jichu

■ 主编 李建平

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

机械设计基础

主 编 李建平
副主编 南三军
编 委 邓春梅 王允光 郝建军
刘 猛 李伯林

内 容 提 要

本书是学习机械类专业的基础教材。主要包括机械设计概述、平面连杆机构、凸轮机构、其他常用机构、带传动和链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、轴、轴承、计算机辅助机械设计。本书适用于机械类、近机械类相关专业的学生使用,也可作为相关行业人员的培训用书。

版权专用 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 李建平主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2010.7
ISBN 978-7-5640-3290-6

I. ①机… II. ①李… III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 115631 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 (办公室) 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 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 11.75

字 数 / 278 千字

版 次 / 2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 21.00 元

责任校对/张沁萍

责任印制/母长新

图书出现印装质量问题, 本社负责调换



前 言

本书是学习机械类专业的准备课程，属于专业基础课程的主干课程。根据目前中等职业教育的特点及要求，本书着重于基本知识、基本理论和基本方法的讲述，培养学生正确理解及处理机械相关内容的实践能力。在编写过程中努力以强化专业意识、培养观察能力、加强知识扩展为方向，重点讲解了传统的四杆机构、齿轮机构、凸轮机构及各种连接的基础知识；在此基础上又重点介绍了相关零件的材料、制造、加工设备、热处理等相关知识；并特别介绍了有关维修的基础知识，使机械基础知识更加完善、合理、科学，为后续课程奠定了基础。在结构上打破老三段式的编写体系，完整地体现了专业基础课与专业课的相融性。本书着重体现下列特点。

1. 力求使知识系统化，对每一种零件都从原理、结构、热处理、设计、加工、选材、维修、装配等方面介绍。删除繁琐的计算，要求学生会查、会用、会选即可。

2. 为培养学生必备的专业意识，增加了零件的制造环节，包括加工设备的介绍、设备维修、零件的装配与维修等内容，使学生对机械设计有一个完整的概念。

3. 打破学科体系，以培养职业能力和学会“做事”为编写思想，有机地将知识与做事结合起来。在“思考与练习”中增加了观察、制作、动脑等综合知识的提问，使所学知识快速地应用到实践中。

该门课程是机械类专业的基础课程，重点讲授各种机构和通用机械的组成、结构、运动特性、设计过程与方法、简单计算、零部件的应用与制造、机械制造设备、机械维修基础等。

本书可作为中等职业院校机械类等相关专业的基础课程教材，也可作为各种职业学历教育及企业相关人员的培训教材。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者



目 录

第一章 机械设计概述	1
第一节 机构运动简图.....	1
第二节 机械零件的强度.....	5
第二章 平面连杆机构	9
第一节 平面连杆机构的基本形式及其演化.....	9
第二节 平面四杆机构存在曲柄的条件及基本特性	16
第三节 平面四杆机构的设计	21
第三章 凸轮机构	24
第一节 凸轮机构概述	24
第二节 常用从动件的运动规律	29
第三节 图解法设计盘形凸轮轮廓	31
第四节 凸轮机构基本参数和尺寸的确定	33
第四章 其他常用机构	39
第一节 螺旋机构	39
第二节 棘轮机构	46
第三节 槽轮机构	49
第四节 凸轮式间歇运动机构	52
第五节 不完全齿轮机构	52



第五章 带传动和链传动	54
第一节 带传动	54
第二节 链传动	69
第六章 齿轮传动	75
第一节 齿轮传动的类型	75
第二节 渐开线直齿圆柱齿轮	77
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	81
第四节 渐开线齿轮的加工方法及根切现象	85
第五节 变位齿轮传动	89
第六节 轮齿的失效和齿轮的材料	91
第七节 标准直齿圆柱齿轮传动的设计	95
第八节 平行轴斜齿圆柱齿轮传动	103
第九节 圆柱齿轮的结构	111
第七章 蜗杆传动	117
第一节 蜗杆传动概述	117
第二节 蜗杆传动受力分析和强度计算	123
第三节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	127
第八章 轮系	131
第一节 轮系及其分类	131
第二节 轮系传动比的计算	133
第三节 轮系的应用	138
第九章 轴	144
第一节 轴的概述	144
第二节 轴的结构设计	146
第三节 轴的工作能力计算	148
第十章 轴承	154
第一节 轴承概述	154

第二节 滑动轴承.....	155
第三节 滚动轴承.....	157
第四节 轴承的润滑与密封.....	166
 第十一章 计算机辅助机械设计.....	 173
第一节 CAD 简介	173
第二节 CAD 系统的硬件分类	174
第三节 典型机械零件的程序设计.....	176

第一章

机械设计概述



不同的机械其功能和外形都不同,但它们设计的基本要求大体相同,机器由机构组成,机构由构件组成。在机械的设计过程中,主要零件的基本尺寸往往是通过强度计算、刚度计算等确定的。而进行设计计算,应先确定该零件工作时所承受的载荷和应力的性质,并根据所选用的材料、热处理和使用要求,合理地选择安全系数,确定许用应力,进行强度计算。本章就机构的分类、简图以及机构零件强度方面的相关内容进行介绍和讲解。



1. 熟悉机器的基本组成及其要求。
2. 了解运动副及其分类,理解平面机构运动简图的绘制,熟悉机构运动简图。
3. 熟悉应力、极限应力、许用应力的基本概念。
4. 熟悉机械零件强度计算原理,会进行强度计算。

* * * * *

第一节 机构运动简图

机器由机构组成,如单缸内燃机由曲柄滑块机构、齿轮机构和凸轮机构组成。机构由构件组成。如果机构中所有构件都在同一个平面内或互相平行的平面内运动,这种机构称为平面机构,否则称为空间机构。工程中常见的机构大多数属于平面机构。

一、运动副及其分类

构件组成机构时,为了使各构件间具有一定的相对运动,构件之间必定要以某种方式连接起来。两构件直接接触而又彼此有一定的相对运动的连接称为运动副。组成运动副的两构件通过面接触而组成的运动副称为低副,通过点或线的形式相接触而成的运动副称为高副。

1. 低副

根据它们之间的相对运动是转动或移动,又可分为转动副和移动副。

(1) 转动副 组成运动副的两构件之间只能绕某一轴线作相对转动,如图 1-1 所示。

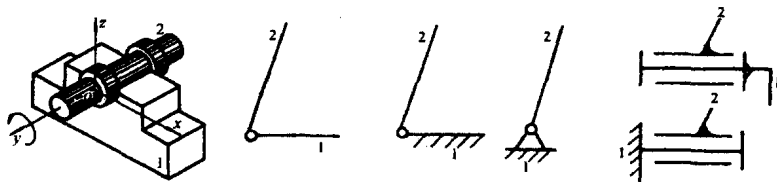


图 1-1 转动副及其符号

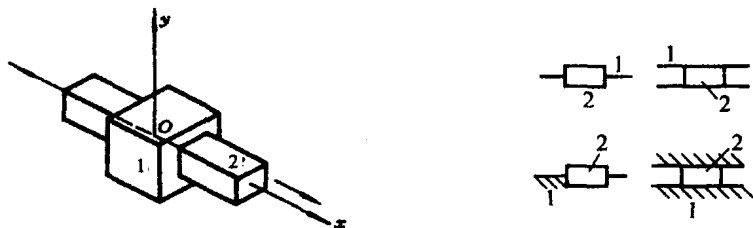


图 1-2 移动副及其符号

(2) 移动副 组成运动副的两构件只能沿某一轴线作相对直线移动,如图 1-2 所示。低副限制了两个构件之间的两种相对运动,保留了一种相对运动(相对转动或移动)。

2. 高副

两构件之间通过点或线接触组成的运动副,称为高副。如图 1-3(a)中的轮齿 1 与轮齿 2,图 1-3(b)中的凸轮 1 与从动件 2,它们分别在接触处形成高副。平面高副可用接触处的轮廓曲线表示。高副限制了两构件沿接触点法线方向的相对运动。

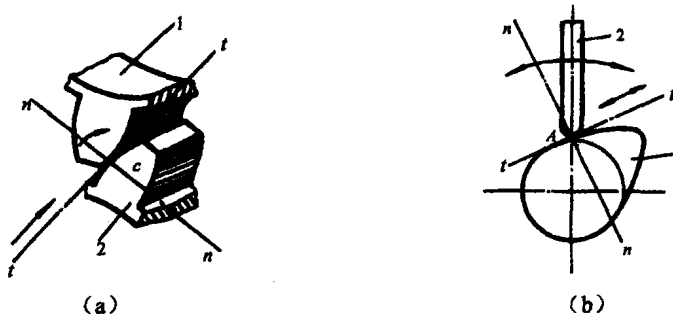


图 1-3 高副及其符号

齿轮与齿轮啮合、齿轮与齿条等啮合的高副及其他常用零部件可按表 1-1 规定符号表示。

表 1-1 部分常用机构运动简图符号(摘自 GB 4460—1984)

名 称	符 号	名 称	符 号
转动副		链传动	

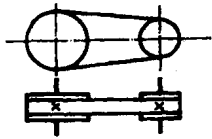


续表

名 称	符 号	名 称	符 号
棱柱副(移动副)		外啮合圆柱齿轮机构(高副)	
二副元素构件		齿轮齿条(高副)	
三副元素构件		内啮合圆柱齿轮传动	
杆的固定连接		圆锥齿轮传动	
电动机		蜗杆传动	
向心普通轴承		联轴器	
单向向心推力普通轴承		弹性联轴器	
凸轮机构(高副)		制动器	



续表

名 称	符 号	名 称	符 号
带传动			

二、构件的分类

根据机构在工作时构件的运动情况不同,可将构件分为如下3类:

1. 机架

机架是机构中视为固定不动的构件,用来支撑其他活动构件。任何一个机构,必须有一个构件被相对视为机架。

2. 主动件

机构中接受外部给定运动规律的活动构件称为主动件或原动件,一般与机架相连。机构通过主动件从外部输入运动和动力。

3. 从动件

机构中随主动件而运动的其他可动构件称为从动件。当从动件输出运动或实现机构功能时,该从动件便称为输出件或执行件。如图1-4所示的颞式破碎机主体机构中,2为主动件,3、4为从动件,1为机架。

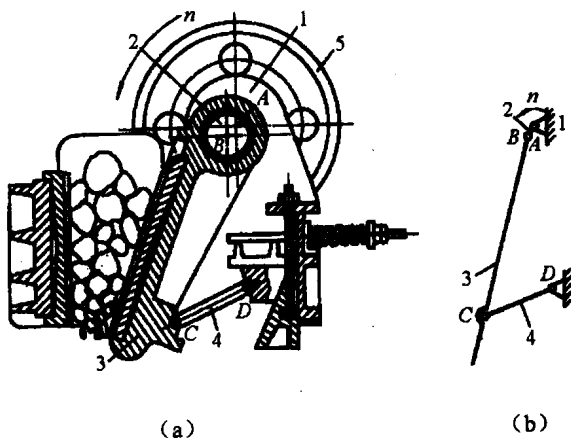


图 1-4 颞式破碎机主体机构

三、平面机构运动简图

实际机构的外形和结构都很复杂,但是机构的运动特性仅与机构的构件数、运动副的类型和数目以及它们的相对位置有关,而与构件的外形、截面尺寸及运动副的具体结构等因素无关。因此,在分析机构运动时,为了简化问题便于研究,常常可以不考虑与运动无关的因素,用规定的运动副符号和简单线条表示运动副和构件,并按一定的比例确定运动副的位置,这种用



规定的简化画法表达机构中各构件运动关系的图形称为机构运动简图。

通过实例介绍机构运动简图的绘制方法和步骤如下:

例 1-1 绘制如图 1-4(a) 所示的颚式破碎机主体机构的运动简图。

解 (1) 分析机构的组成及运动情况。在颚式破碎机中,带轮 5 与偏心轮 2 固结在一起绕 A 轴转动,为原动件。偏心轴 2 带动动颚板 3 运动时将矿石粉碎。1 为机架。动颚板 3 与肘板 4 连接,肘板 4 与机架连接。动颚板和肘板为从动件。

(2) 确定运动副的类型及数量。原动件(偏心轴与带轮)与机架构成转动副,其中心为 A。偏心轴与动颚板构成转动副,其中心为 B。动颚板与肘板构成转动副,其中心为 C。肘板与机架构成转动副,中心为 D。

(3) 选择视图平面。在绘制机构运动简图时,一般选多数构件的运动平面为视图平面。颚式破碎机为平面机构,故选构件运动平面为视图平面。

(4) 选择适当比例尺,绘制机构运动简图。根据实际机构及图样大小,以清楚表达机构为目的,选择合适的比例尺(单位为 m/mm),以相应构件和运动副符号绘出机构运动简图,如图 1-4(b) 所示。

第二节 机械零件的强度

一、载荷和应力

1. 载荷

载荷是指零件或构件工作时所承受的外力。根据载荷性质的不同,可分为静载荷和变载荷两类。

- 不随时间变化或变化较缓慢的载荷称为静载荷,如重力,锅炉中的压力,螺栓拧紧后受到的拉力;

- 随时间变化的载荷称为变载荷,如内燃机活塞杆受到的力,机器中的齿轮受到的力等。在计算中,将载荷分为名义载荷和计算载荷。

- 根据原动机额定功率(或阻力、阻力矩)计算出来的作用于机械零件上的载荷称为名义载荷,一般用 F 表示力,用 T 表示力矩。

- 考虑机械零件在工作时有冲击、振动和由于各种因素引起的载荷分布不均匀等,将名义载荷修正后用于零件计算的载荷称为计算载荷,以 F_c 、 T_c 表示。

计算载荷与名义载荷的关系为:

$$F_c = KF \quad T_c = KT$$

式中, K 为载荷系数,一般取 $K \geq 1$ 。

2. 应力

与载荷一样,构件内的应力也分为两类:静应力和变应力。

- 在静载荷作用下产生的不随时间变化的应力称为静应力,如图 1-5 所示;

- 在变载荷作用下(或静载荷作用在运动的零件上)产生的随时间变化的应力称为变应力,如果应力随时间做周期性的变化则称为交变应力。



根据应力随时间变化的规律,较典型的交变应力有:非对称循环的交变应力(如图 1-6 所示)、对称循环的交变应力(如图 1-7 所示),脉动循环的交变应力(如图 1-8 所示)。

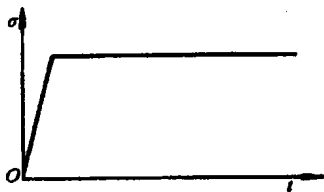


图 1-5 静应力

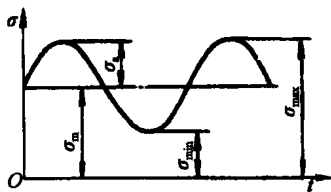


图 1-6 非对称循环交变应力

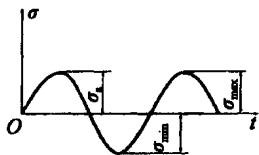


图 1-7 对称循环交变应力

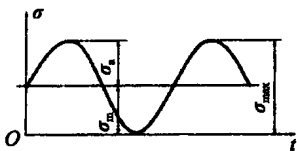


图 1-8 脉动循环交变应力

如图 1-6 所示,交变应力的最大应力为 $\sigma_{\max}$,最小应力为 $\sigma_{\min}$ 时,其平均应力 σ_m 和应力幅 σ_a 分别为

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}, \quad \sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

最小应力 $\sigma_{\min}$ 与最大应力 $\sigma_{\max}$ 之比称为循环特征 r , 即

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

由上述可知,交变应力参数共有 5 个,即 $\sigma_{\min}$ 、 $\sigma_{\max}$ 、 σ_m 、 σ_a 和 r , 已知其中两个参数便可求出其余参数。循环特征 r 可以用来表示应力的变化情况,对称循环的交变应力, $r = -1$; 脉动循环的交变应力, $r = 0$; 非对称循环的交变应力, r 随具体受力情况不同在 $-1 \sim +1$ 之间变化; 静应力则可看作交变应力的一个特例, 即 $r = +1$ 。

二、零件的极限应力 $\sigma_{\lim}$

1. 静应力下的极限应力

在静应力下工作的机械零件,其极限应力 $\sigma_{\lim}$ 取决于零件的失效形式。

- 对于脆性材料制成的零件应防止发生断裂,通常取材料的强度极限 σ_B 作为极限应力, 即 $\sigma_{\lim} = \sigma_B$;

- 当采用塑性材料制成零件时,应防止产生过大的塑性变形,通常取材料的屈服极限 σ_s 作为极限应力, 即 $\sigma_{\lim} = \sigma_s$ 。

2. 交变应力下的极限应力

在交变应力下长期工作的零件,其 $\sigma_{\lim}$ 取决于材料的疲劳断裂,而疲劳断裂是一种损伤积累,它会在远低于强度极限的应力下,突然断裂而无明显的塑性变形,这时的应力称为疲劳极限(或称持久极限)。

如图 1-9 所示是表示应力 σ 和应力循环次数 N 之间关系的疲劳曲线。从图中可以看出,应力愈小,零件材料能经受的应力循环次数也就愈多。对于一般钢铁来说,当循环次数 N 超



过某一值 N_0 以后,曲线趋向于水平,即 $N > N_0$ 时,疲劳极限 N 不再随循环次数的增加而降低。 N_0 称为循环基数,对应于 N_0 的应力称为材料的持久极限。

在对称循环交变应力下, $r = -1$, 取其持久极限 σ_1 , 作为极限应力; 在脉动循环交变应力下, $r = 0$ 取其持久极限 σ_0 作为极限应力。

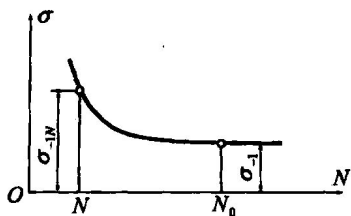


图 1-9 疲劳曲线

三、机械零件的强度计算

强度是指零件抵抗破坏的能力,是保证机械零件工作能力的最基本要求。如果零件的强度不够,不仅会因零件的失效而使机器不能正常工作,甚至还可能导致安全事故。

零件的强度分为体积强度和表面接触强度。

● 零件在载荷作用下,如果产生的应力在较大的体积内,这种应力状态下的零件强度称为体积强度(通常简称强度)。

● 若两零件在受载前后由点接触或线接触变为小表面积接触,而且其表面产生很大的局部应力(称为接触应力),这时零件的强度称为表面接触强度(简称接触强度)。

若零件的强度不够,就会出现整体断裂。表面接触疲劳或塑性变形等失效而丧失工作能力。所以,设计零件时,必须满足强度要求。强度计算准则为

$$\sigma \leq [\sigma] \text{ 或 } \tau \leq [\tau]$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S}; [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{S_{\tau}}$$

式中, σ 、 τ ——零件工作时的正应力和切应力;

$[\sigma]$ 、 $[\tau]$ ——零件材料的许用正应力和许用切应力。

S 、 S_{τ} ——正应力和切应力的安全系数;

$\sigma_{\lim}$ 、 $\tau_{\lim}$ ——材料的极限正应力和极限切应力。



机器应满足的基本要求

不同的机械其功能和外形都不相同,但它们设计的基本要求大体是相同的,机械应满足的基本要求可以归纳为以下几方面:

● 满足使用要求:首先要要求机器能保证实现全部预定的各项功能。如机器工作部分的运动形式、速度、运动精度和平稳性、需要传递的功率,以及某些使用上的特殊要求(如高温、防潮等)。其次要求保证在给定工作时间内和预定的工作条件下有效地执行规定的功能、规定的运动和实现规定的生产率。

● 经济要求:经济性是一项综合性指标,要求设计、制造成本低,生产周期短,使用机器时生产效率高,消耗少(电、油、水、原材料及辅助材料少),管理维修费用低等。

● 社会要求:必须注意人与机器的关系。操作系统要简便可靠,有利于减轻操作人员的劳动强度,要能实现对操作人员的防护,保证人身安全和身体健康,同时要保证机器对环境的适应性。例如,要保证操作人员的安全,操作简便和省力,改善操作者的工作环境(如控制噪声等),造型美观。



• 其他要求:机械设计中还要尽可能采用标准化、通用化、系列化的参数和零部件,以节省设计、制造的费用,降低维修工作量,并有利于保证质量。



1. 什么叫运动副?它在机构中起何作用?高副转动副和移动副各限制哪些相对运动,保留哪些相对运动?
2. 绘制机构运动简图应注意哪些事项?
3. 试述机械零件失效的主要形式及机械零件设计准则的含义。
4. 试画出图 1-10 中抽水唧筒、柱塞式液压泵和翻斗车自动卸料机构的机构运动简图。

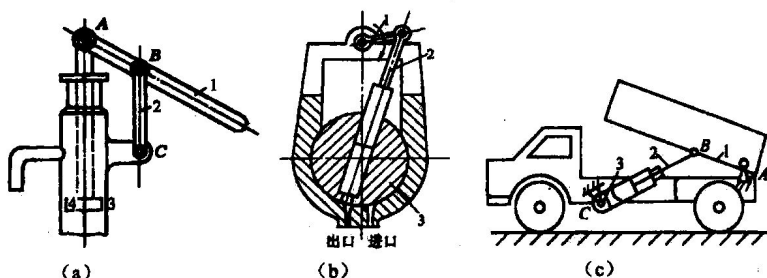


图 1-10 第 4 题图

(a)抽水唧筒;(b)液压泵;(c)翻斗车

5. 某减速器传递的功率 $P = 12.7 \text{ kW}$, 主动齿轮的转速 $n = 300 \text{ r/min}$, 试求:
 - (1) 主动齿轮的名义转矩。
 - (2) 载荷系数 $K = 1.2$ 时, 其计算转矩为多少?
6. 已知交变应力的循环特征 $r = 0.25$, 平均应力 $\sigma_m = 225 \text{ MPa}$, 画出交变应力图。

第二章

平面连杆机构



构件间只有低副(转动副或移动副)连接的机构,称为连杆机构(亦称低副机构)。如果机构中所有构件都在同一平面内或平行的平面内运动,则称为平面连杆机构。构件间用4个低副相连的机构,称为四杆机构,它应用广泛,很多平面多杆机构是在其基础上添加一些杆件系统构成的。本章主要就平面连杆机构的形式、基本特性及其设计等方面的知识进行介绍讲解。



1. 熟悉铰链回杆机构的基本形式及其应用。
2. 掌握含有一个移动副的回杆机构及其应用。
3. 理解四杆机构的急回特性,压力角和传动角,死点位置。
4. 掌握四杆机构的设计方法。

* * * * *

第一节 平面连杆机构的基本形式及其演化

工程中常用的平面连杆机构是平面四杆机构。平面四杆机构最常用的形式可分为两大类:铰链四杆机构及含有一个移动副的平面四杆机构。铰链四杆机构是平面四杆机构的基本形式。含有一个移动副的平面四杆机构可视为铰链四杆机构的演化形式,即含有一个移动副的铰链四杆机构。

一、铰链四杆机构的基本形式

运动副都是转动副的平面四杆机构称为铰链四杆机构,如图 2-1 所示。在铰链四杆机构中,固定不动的构件 4 是机架,与机架 4 相连的构件 1 和 3 称为连架杆,不与机架相连的构件 2 称为连杆。相对于机架能做整周转动的连架杆称为曲柄;只能在一定角度范围内往复摆动的连架杆称为摇杆。

根据连架杆运动的形式不同,铰链四杆机构分为三种基本形式。

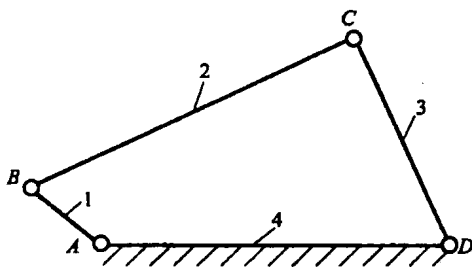


图 2-1 铰链四杆机构

1,3—连架杆;2—连杆;4—机架

1. 曲柄摇杆机构

两连架杆分别为曲柄和摇杆的铰链四杆机构称为曲柄摇杆机构。在曲柄摇杆机构中,当曲柄为主动件时,将主动曲柄的等速连续转动转化为从动摇杆的往复摆动,如图 2-2 所示的雷达天线俯仰角调整机构。其中,曲柄 1 为主动件,天线固定在摇杆 3 上。该机构将曲柄的转动转换为摇杆(天线)的俯仰运动。

在曲柄摇杆机构中,也可以以摇杆为主动件,曲柄为从动件,将主动摇杆的往复摆动转化为从动曲柄的整周转动。

2. 双曲柄机构

(1)双曲柄机构 两连架杆均为曲柄的铰链四杆机构,称为双曲柄机构。主动曲柄等速转动,从动曲柄一般为变速转动,如图 2-3 所示插床六杆机构是以双曲柄机构为基础扩展而成的。

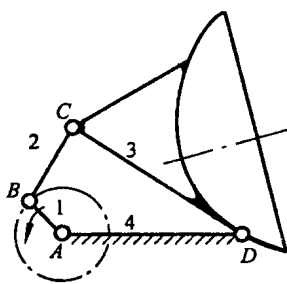


图 2-2 雷达天线俯仰角调整机构

1—曲柄;2—连杆;3—摇杆;4—机架

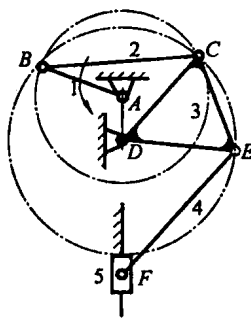


图 2-3 插床六杆机构

1—曲柄;2,3,4—连杆;5—滑块

(2)平行四边形机构 在双曲柄机构中有一种特殊机构,连杆与机架的长度相等、两个曲柄长度相等且转向相同的双曲柄机构,称为平行四边形机构。由于这种机构两曲柄的角速度始终保持相等,且连杆始终保持平动,因此应用较广泛。例如,天平机构。

平行四边形机构有以下三个运动特点:

- 两曲柄转速相等。如图 2-4 所示的机车车轮联动机构就是利用平行四边形机构的这一特性。
- 连杆始终与机架平行。如图 2-5 所示的摄影车升降机构,其升降高度的变化采用两组