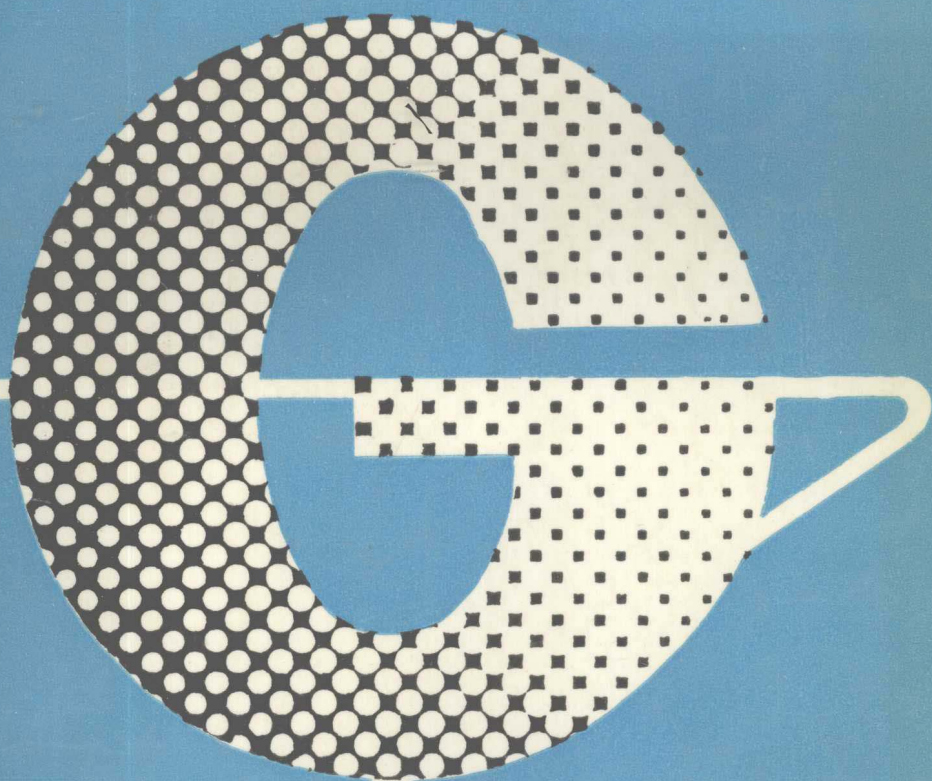


高等专科学校试用教材

机械设计基础



南京机械专科学校
哈尔滨机电专科学校

黄文灿
陈锐芬

主编

机械工业出版社

高等专科学校试用教材

机械设计基础

南京机械专科学校 黄文灿
哈尔滨机电专科学校 陈锐芬 主编



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书是参照国家教育委员会1990年制订的高等工程专科学校“机械设计基础”课程教学基本要求(63~100学时)编写。

本书力求精选内容,尽可能反映各校的专科教学经验,并附有一定数量的思考题及习题。

全书内容包括:机构的结构分析,平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、联接、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轴、轴承、联轴器 and 离合器、弹簧等的受力分析和设计计算以及机械的调速和平衡。

本书为专科学校近机类各专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

机械 设计 基础

南京机械专科学校 黄文灿 主编
哈尔滨机电专科学校 陈锐芬

*

责任编辑:赵爱宁 版式设计:王 颖

封面设计:刘 代 责任校对:熊天荣

责任印制:尹德伦

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 16·字数 393 千字

1992年5月北京第1版·1992年5月北京第1次印刷

印数 0,001—5,200·定价:4.55 元

*

ISBN 7-111-03099-0/TH·340 (课)

前 言

本书是参照国家教委高教司 1990 年制订的高等工程专科学校“机械设计基础（机械原理及机械零件）课程教学基本要求（初稿）”编写的。本书为近机类专科教材，参考学时范围为 63~100 学时。为了适应不同专业的需要，教材按学时数的上限编写，在使用时可结合具体情况取舍。

本书力求基本内容及概念阐述清楚，尽可能反映各校的专科教学经验，注重应用性和理论联系实际，并附有一定数量的思考题及习题供选用。

为了便于教学，将齿轮原理和齿轮强度计算部分合并为第十章；对链传动的功率曲线及部分表格作了更新。本书附录（滚动轴承）仅摘录与教材内容有关的数据资料，更详细的内容可查阅有关设计手册。

本书第二、六章由郑州机械专科学校张莹编写；第三、七、八、十六章由上海纺织工业专科学校楼望江编写；第十三、十四、十五章由盐城工业专科学校王志义编写；第九章（第一~八节）、第十一章由扬州工学院魏传儒编写；第九章（第九~十七节）、第十章由哈尔滨机电专科学校陈锐芬编写；绪论、第一、四、五、十二章由南京机械专科学校黄文灿编写。由黄文灿、担任主编，陈锐芬担任副主编。

本书承湖南轻工业专科学校余成方同志主审，最后经全国专科学校机制专业教材编审委员会委员余存惠同志审阅。他们对本书提出了不少宝贵意见，在此表示衷心感谢。

因编者的水平有限，时间仓促，定有不少缺点和错误，深望使用本书的教师和读者批评指正。

编者

1991年2月

目 录

绪论	1	第二节 V 带的标准和几何尺寸	88
第一节 本课程研究对象和内容	1	第三节 带传动的受力和应力分析	90
第二节 本课程在教学中的地位	2	第四节 带传动的弹性滑动和传动比	92
第三节 机械设计的基本要求和一般过程	3	第五节 普通 V 带传动的设计计算	92
第一章 机构的结构分析	5	第六节 V 带轮结构与带传动的张紧装置	98
第一节 研究机构结构的目的是	5	第七节 同步齿形带简介	101
第二节 运动副及其分类	5	第八章 链传动	102
第三节 平面机构的运动简图	6	第一节 概述	102
第四节 平面机构的自由度	9	第二节 链条和链轮	102
第二章 平面连杆机构	15	第三节 链传动的运动特性和主要参数的选择	105
第一节 铰链四杆机构的基本型式及演化	15	第四节 滚子链传动的计算	107
第二节 铰链四杆机构曲柄的存在条件	21	第五节 链传动的布置和润滑	110
第三节 平面四杆机构的基本特性	22	第九章 齿轮传动	113
第四节 平面四杆机构的设计	25	第一节 齿轮传动的特点和类型	113
第三章 凸轮机构	32	第二节 齿廓啮合基本定律	114
第一节 凸轮机构的应用和分类	32	第三节 渐开线齿廓	115
第二节 从动件常用的运动规律	33	第四节 齿轮各部分名称及标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	118
第三节 图解法设计凸轮轮廓	36	第五节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	120
第四节 设计凸轮机构应注意的问题	40	第六节 渐开线标准齿轮的公法线长度	123
第四章 间歇运动机构	44	第七节 渐开线齿廓的切削加工原理	125
第一节 棘轮机构	44	第八节 根切现象、最少齿数及变位齿轮	126
第二节 槽轮机构	46	第九节 齿轮传动的失效形式	130
第五章 机械的调速和平衡	49	第十节 齿轮材料	132
第一节 机械速度波动及调节	49	第十一节 齿轮传动的精度	134
第二节 机械的平衡	53	第十二节 直齿圆柱齿轮的强度计算	135
第六章 联接	60	第十三节 直齿圆柱齿轮的设计	139
第一节 联接的类型和应用	60	第十四节 斜齿圆柱齿轮传动	143
第二节 键联接和花键联接	61	第十五节 直齿圆锥齿轮传动	149
第三节 销联接	65	第十六节 齿轮的结构	154
第四节 螺纹知识	65	第十七节 齿轮传动的润滑	156
第五节 螺纹联接及其预紧和防松	70	第十章 蜗杆传动	160
第六节 螺栓联接的强度计算	74	第一节 概述	160
第七节 提高螺栓联接强度的措施	79	第二节 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	161
第八节 螺旋传动	81	第三节 蜗杆传动的失效形式、设计准则	
第九节 滚动螺旋简介	84		
第七章 带传动	87		
第一节 概述	87		

和材料	163	第四节 轴瓦及轴承衬材料	202
第四节 蜗杆传动的受力分析	164	第五节 润滑剂和润滑装置	204
第五节 蜗杆传动的强度计算	164	第六节 非液体摩擦滑动轴承的计算	207
第六节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡 计算	165	第七节 液体摩擦滑动轴承简介	209
第七节 蜗杆和蜗轮结构	167	第十四章 滚动轴承	212
第十一章 轮系	171	第一节 滚动轴承的基本类型及特性	212
第一节 轮系的分类	171	第二节 滚动轴承代号及滚动轴承的 类型选择	215
第二节 定轴轮系及其传动比	172	第三节 滚动轴承的失效形式及选择 计算	217
第三节 周转轮系及其传动比	173	第四节 滚动轴承组合设计	224
第四节 混合轮系及其传动比	177	第十五章 联轴器和离合器	231
第五节 轮系的应用	179	第一节 概述	231
第六节 几种特殊的行星传动简介	183	第二节 常用联轴器	231
第十二章 轴	188	第三节 离合器	234
第一节 概述	188	第十六章 弹簧	238
第二节 轴的材料	189	第一节 概述	238
第三节 轴的结构设计	190	第二节 圆柱压缩(拉伸)螺旋弹簧	240
第四节 轴的强度计算	193	第三节 圆柱压缩(拉伸)螺旋弹簧的 设计计算	242
第五节 轴的刚度计算	197	附表	247
第十三章 滑动轴承	200	参考文献	251
第一节 概述	200		
第二节 滑动轴承的摩擦状态	200		
第三节 滑动轴承的结构型式	201		

绪 论

第一节 本课程研究对象和内容

我国早在东汉时，杜诗就发明了水排（图 0-1），当时为了炼铁鼓风，利用它通过水力推动水轮 1，经过带传动 2 和连杆 3 带动风箱。它是人类最早创造的较完整的机器。随着历史的进步，社会的发展，如今在人们生活和生产的各个领域，机器使用得越来越普遍。在日常生活中，常见的机器如自行车、缝纫机、洗衣机等。在生产活动中，常见的机器如汽车、各种机床、内燃机等。

机器的种类繁多，用途各异，但通过仔细分析，可以发现它们都具有共同的特征。

如图 0-2 所示的洗衣机，由电动机 1 通过带传动 2 驱动波轮 3，搅动洗涤液进行工作。

如图 0-3 所示为单缸内燃机。

1) 主体部分：活塞 2、连杆 5、曲轴 6 和缸体 1。缸内燃气膨胀，推动活塞下行，通过连杆使曲轴转动。

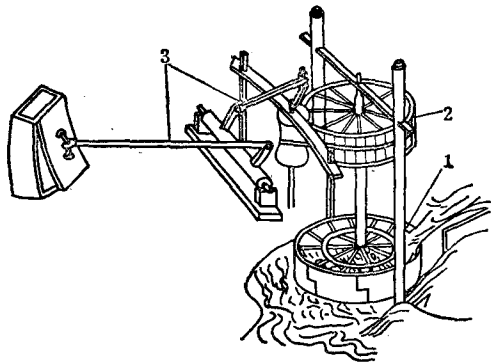


图 0-1 水排

1—水轮 2—带传动 3—连杆

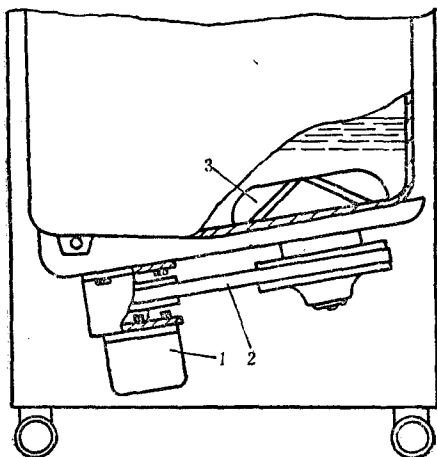


图 0-2 洗衣机

1—电动机 2—带传动 3—波轮

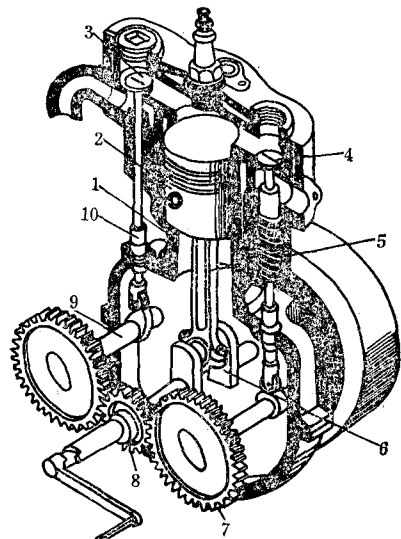


图 0-3 单缸内燃机

1—缸体 2—活塞 3、4—气阀 5—连杆 6—曲轴
7、8—齿轮 9—凸轮 10—推杆

2) 进气、排气控制部分：凸轮 9、推杆 10 控制气阀 3、4 按时启闭。

3) 传动部分：曲轴转动，通过齿数为 1:2 的齿轮对 7、8 带动二根凸轮轴。这样，当曲轴每转两周，进、排气阀各启闭一次。

通过以上两个实例说明，机器具有以下共同的特征：

1) 它们是各种实物的组合。

2) 各实物间具有确定的相对运动。

3) 能减轻或代替人们的劳动，去完成机械功（如洗衣机），或实现能量的转换（如内燃机将热能转换成机械能）。

机构仅具备前两个特征，而不具备第三个特征。若不讨论作功或能量转换问题，机器便可看作机构。例如，洗衣机中具有带传动机构。内燃机的主体部分为连杆机构；进、排气控制部分为凸轮机构；传动部分为齿轮机构，整个内燃机是由这几个机构所组成。因此，机器是由一个或多个机构组成的。

仅从结构和运动方面的观点来看，机器和机构两者之间并无区别，习惯上常将机器和机构统称为机械。

世界上有千千万万种类的机器，但是组成机器的机构种类却是有限的。机器中常见的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系机构和间歇运动机构。

组成机构中的各个相对运动部分称为构件。构件可以是单一的整体，如内燃机中的曲轴；也可以是由几个实物装配成一刚性整体，如图 0-4 所示的连杆，它由连杆体 1、连杆盖 4、螺栓 2、螺母 3 装配而成，而这些实物被称为零件。

因此，构件是机构中参与运动的单元，而零件是机器中制造的单元。

零件分为两类：一类是各种机器设备中常用的零件，称为通用零件。例如：键、螺钉、带轮、链轮、齿轮、蜗轮、轴、轴承、联轴器。另一类是专用零件，如洗衣机中的波轮、内燃机中的活塞、起重机中的吊钩等。

本课程研究的对象是常用的机构和通用零件，研究的内容是常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本设计理论和计算方法。

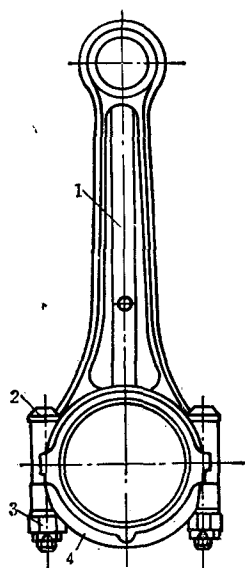


图0-4 连杆

1—连杆体 2—螺栓
3—螺母 4—连杆盖

第二节 本课程在教学中的地位

随着国民经济的发展，各行各业应用机器的场合日益增多，作为各部门工作的工程技术人员，应该具备一定的机械基础知识，因此“机械设计基础”是高等工程专科学校有关专业的一门重要的技术基础课。

通过本课程的学习和课程设计的实践，可以达到下述基本要求：

1) 初步学会运用手册和标准来设计机械传动装置和简单的机械，为今后从事技术革新工作创造条件。

2) 为后期学习专业机械设备课程建立必要的基础。

3) 为今后工作中了解各种机械传动原理以及设备使用、维修、故障分析等方面提供必要的基本知识。

但是, 学习本课程前必须具有机械制图、金属工艺学、理论力学、材料力学等先修课程的知识。

第三节 机械设计的基本要求和一般过程

一、机械设计的基本要求

机械设计的基本要求, 一般说来有以下三个方面。

1. 使用要求

首先要求机器能保证实现全部预定的各项功能。为此, 必须正确选择机器的工作原理、机构的类型和机械的传动方案。

其次要求保证在给定的工作时间内, 具有高度的可靠性。为此, 必须正确设计机器的零件, 使零件满足强度、刚度、耐磨性及振动稳定性等方面的要求。

2. 经济要求

机器的经济性是一项综合指标, 它与设计、制造和使用等各方面的因素有关。

设计经济性体现为: 在达到同等功能条件下结构最简单、零件最少, 设计符合标准化要求, 多采用标准零件和标准部件, 少用贵重材料, 采用先进的设计方法并缩短设计周期。

制造经济性为用材合理, 制造工艺先进, 装配方便和生产周期短等。

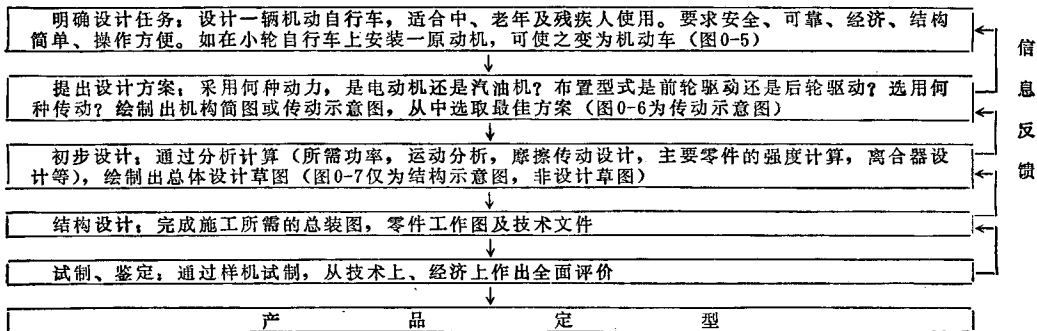
使用经济性为效率高、生产率高、消耗少(电、油、水、原材料及辅助材料少)、管理维修费用少等。

3. 社会要求

必须注意人与机器的关系。例如: 要保证操作人员的安全, 在失误时有连锁及保险装置。操作简便和省力, 操作部位要符合人的生理特点, 简单、重复的劳动应由机器来完成, 改善操作者的工作环境(其中包括噪声)。因机器也是商品, 为了加强市场竞争能力, 必须重视外形和色彩方面的要求。

二、机械设计的一般过程

生产出一部新的机器, 其过程是非常复杂的, 要经过设计、试制、鉴定到定型投产等。现结合机动自行车的设计为例, 并通过框图以说明机械设计的一般过程。但它不是一成不变的程序, 往往会随着具体情况而变化, 有时还要根据信息反馈, 修改前一阶段的工作。



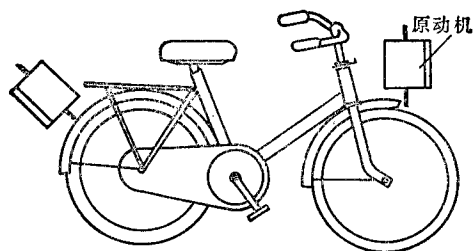


图0-5 小轮自行车上安装原动机

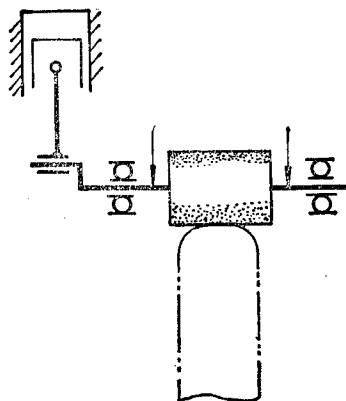


图0-6 传动示意图

图 0-7 的说明：该机相当于普通小轮自行车上加一助动器，不用发动机时，脚踏前进，与普通自行车无异。小型单缸汽油发动机最大功率为 0.625kW ， 3000 r/min 。速度适中， 24km/h ，改变车速只须控制油门把手。一次加油可行驶 100km 左右，适合于城市中使用。

发动机曲轴 1，穿过摩擦轮 2 带动杆 3 一起转动。当速度超过一定值后，离心式离合器呈结合状态，离合器壳旋转，使压套在壳上的摩擦轮也一起旋转，靠摩擦力驱动前轮。摩擦轮内具有一对含油轴承 5，摩擦轮为硅制品，具有较高的摩擦系数，与轮胎接触构成一对摩擦传动。摩擦轮靠机器的自重加压，不用时推把手 4 挂上钩子，此时轮胎与摩擦轮分离。

从上例可见，机动自行车可算是一台完整的机器，它由三部分组成：小型发动机为原动部分，摩擦传动为传动部分，而轮胎一方面是大摩擦轮，同时也是机器的执行部分。

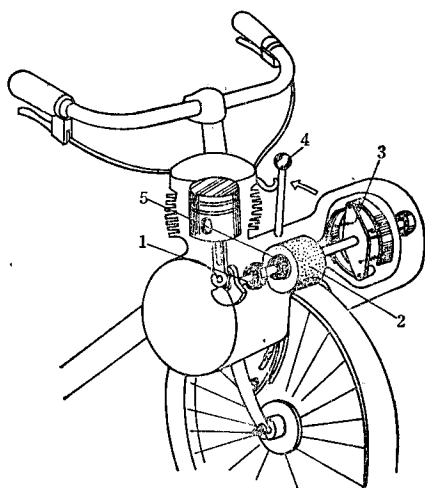


图0-7 结构示意图

1—曲轴 2—摩擦轮 3—杆 4—把手 5—含油轴承

思考题

- 0-1 机器和机构的主要区别是什么？
- 0-2 用实例说明构件和零件的区别，通用零件和专用零件的区别。
- 0-3 机械设计的基本要求有哪几方面？

第一章 机构的结构分析

第一节 研究机构结构的目

研究机构结构的目的是在设计新机器时,判断所设计的各个机构能否运动,在什么条件下才会实现确定的相对运动。或在分析已有机器时,也要对其中一些复杂的机构进行结构分析,以便较透彻地了解机构的结构特点。

实际机构中的构件往往都很复杂,为了便于分析和研究,有必要以简单的线条和符号作出机构的运动简图,以便在设计新机器时,作为机构方案讨论的一种工程语言。同时,这种简图也是进一步作机构分析的基础。

若机构中所有的构件都在同一平面或相互平行的平面内运动,这种机构称为平面机构;否则称为空间机构,本章仅讨论平面机构。

第二节 运动副及其分类

机构中的构件必须互相联接,且彼此之间允许有一定的相对运动。两个构件直接接触,既保持联系,又能作相对运动的联接,称为运动副。

根据两构件的接触情况,运动副可分为低副和高副两大类。

一、低副

两构件以面接触而组成的运动副称为低副。根据它们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

若组成运动副的两个构件只能在一个平面内作相对转动,这种运动副称为转动副,或称铰链。如图 1-1 所示,构件 1 可相对于构件 2 转动,构件 1 与构件 2 组成转动副。

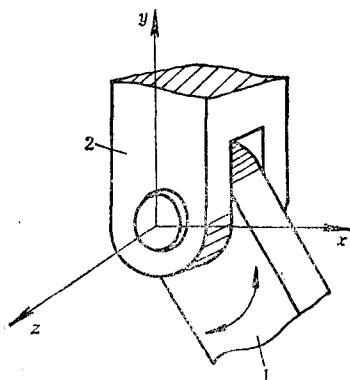


图1-1 转动副
1、2—构件

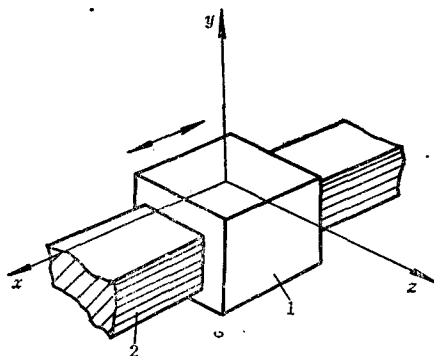


图1-2 移动副
1、2—构件

2. 移动副

若组成运动副的两个构件只能沿轴线相对移动, 这种运动副称为移动副。如图 1-2 所示, 构件 1 与 2 以棱柱面相接触, 构件 1 可相对于构件 2 沿轴线移动, 构件 1 与构件 2 组成移动副。

二、高副

两构件以点或线接触而组成的运动副称为高副。如图 1-3 a 中凸轮 1 与从动件 2 在 A 处接触所组成的运动副及图 1-3 b 中两齿在 A 处接触所组成的运动副都属于高副。组成高副的两构件间的相对运动为移动兼转动。

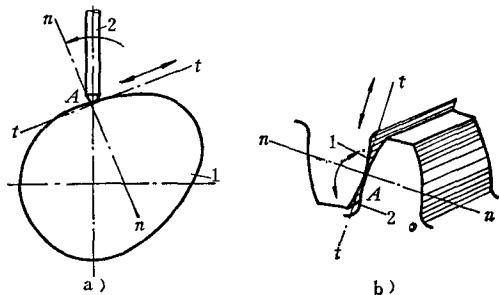


图1-3 高副

1—凸轮 2—从动件

第三节 平面机构的运动简图

无论是设计新的机构, 还是对已有的机构进行分析, 都要从分析机构运动着手, 所以撇开实际机构中与运动无关的因素 (如构件的外形、组成构件的零件数目以及运动副的具体构造等), 只用简单的线条和规定的符号表示构件和运动副, 并用一定的比例定出各运动副的位置, 这种说明机构各构件间相对运动关系的图, 称为机构运动简图。

一、运动副的表示方法

1. 低副

图 1-4 a 表示两构件组成转动副的几种表示方法。

图 1-4 b 表示两构件组成移动副的几种表示方法。

如果两构件之一是固定件 (机架), 则在固定件上画上斜线。

2. 高副

两构件组成高副时, 在简图中应画出两构件接触处的曲线轮廓, 如图 1-4 c 所示。

二、几种主要机构的运动简图表示方法

1. 连杆机构

图 1-5 a 表示最基本的铰链四杆机构的运动简图。其中任一构件具体形状可能是弯曲的, 但在运动简图中仍以两转动副几何中心所连直线来表示, 如图 1-5 b 所示。

图 1-6 a 表示同一构件具有两个移动副, 其中点划线为构件相对运动的方向。

图 1-6 b 表示具有一个转动副和一个移动副。

图 1-6 c 表示同一构件上具有三个转动副, 可将每两条直线相交部位上涂上焊缝记号或

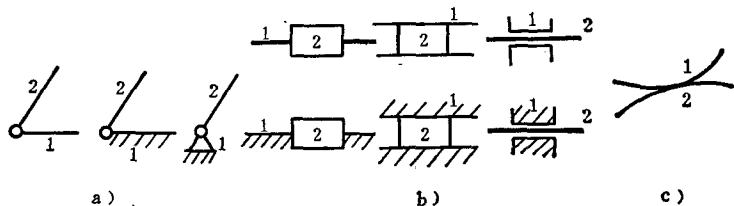


图1-4 运动副的表示方法

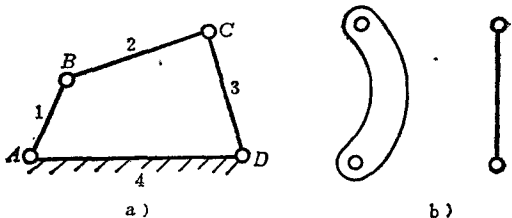


图1-5 铰链四杆机构

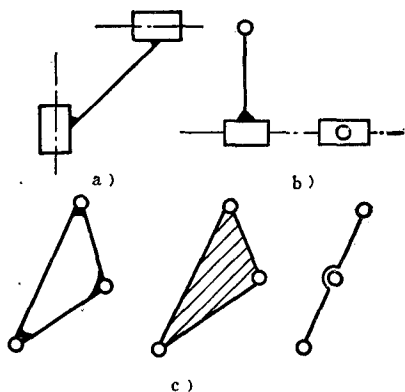


图1-6 构件表示方法

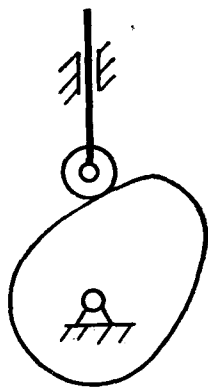


图1-7 凸轮机构

在三角形中画上斜线。如它们在同一直线上，则可用跨越半圆符号来连接二段直线。

2. 凸轮机构

通常习惯画出凸轮机构的全部轮廓（图1-7）。

3. 圆柱齿轮机构

可用一对节圆表示圆柱齿轮机构（实线或点划线均可），如图1-8 a 所示；或在节圆上再添加两段齿廓来表示（图1-8 b）。图1-8 c 表示内啮合齿轮机构。图1-8 d 表示齿轮与齿条啮合。

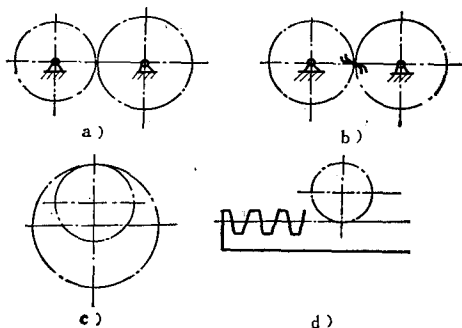


图1-8 圆柱齿轮机构

4. 油缸

当机构中出现油缸时，固定式油缸表示方法如图1-9 a 所示。其中杆1相对于缸体的移动为移动副。图1-9 b 为摆动式油缸，其性质相当于转动副和移动副的组合。

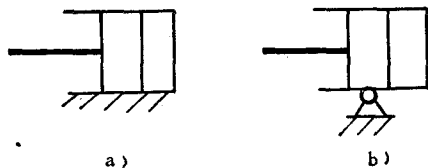


图1-9 油缸表示方法

三、机构运动简图的绘制

机构运动简图的绘制一般可按以下步骤进行：

- 1) 分析机构运动的传递情况，找出固定件（机架）、原动件和从动件。
- 2) 从原动件开始，按照运动的传递顺序，分析各构件间的相对运动性质，从而确定有多少构件及运动副的类型和数目。
- 3) 选择视图平面，一般选择与构件运动平面相平行的平面作为视图平面。
- 4) 选取合适的比例尺，确定各运动副之间的相对位置。用简单的线条和规定的运动副符号画出机构运动简图。

各转动副中心标以大写的英文字母，各构件标阿拉伯数字，机构的原动件以箭头标明。下面举例说明机构运动简图的具体画法。

例1-1 图1-10 a 为浇铸自动线上的浇包。当油缸体1内部的油压推动活塞杆2使浇包

倾斜, 铁水自浇包口注入砂箱 5。试绘制浇包机构的运动简图。

解 1) 该机构由缸体 1、活塞杆 2、浇包盖 3 和机架 4 等四个构件组成, 其中带活塞的杆为原动件。

2) 该油缸为摆动油缸, 活塞与缸体构成移动副, 缸体与机架以铰链联接构成转动副。活塞杆与浇包盖、浇包盖与机架以铰链连接, 构成转动副。

3) 该机构为平面机构, 以构件的运动平面作为视图平面。并将浇包机构转至适当位置来考察, 以免构件间线条重叠而表达不清。

4) 量取各运动副中心 A 与 B 、 B 与 C 、 C 与 A 之间的长度 l_{AB} 、 l_{BC} 、 l_{CA} , 以适当的比例、规定的符号, 即可画出该机构的运动简图, 如图 1-10 b 所示。

若进一步分析, 以图 1-10 c 的形式表示, 则更为简洁。

例 1-2 图 1-11 a 为小型压力机, 其中齿轮 1' 与偏心轴 1 相固联, 齿轮 6' 与凸轮 6 相固联。当偏心轴 1 回转时, 使压杆 8 上下往复运动。试绘制机构运动简图。

解 1) 机架 9 是固定件, 齿轮 1' 是原动件, 其余为从动件。

2) 该机构具有偏心轴 1、构件 2、3、4 及滚子 5、凸轮 6、滑块 7、压杆 8 和机架 9 等 9 个构件。其中齿轮 1' 与偏心轴 1 固联, 齿轮 6' 与凸轮 6 固联, 故不能作为独立运动的构件。

3) 各构件间的运动副情况如下: 构件 2 上的环孔活套在偏心轴 1 的圆柱面上 (图 1-11 b) 构成转动副 A , 其它如偏心轴 1 和机架 9、构件 2 和 3、3 和 4、4 和滚子 5、滑块 7 和构件 8 之间均可相对转动, 也构成转动副; 构件 3 和机架 9、构件 8 和机架 9、滑块 7 和构件 4 之间构成移动副; 齿轮 1' 和齿轮 6'、滚子 5 和凸轮 6 构成高

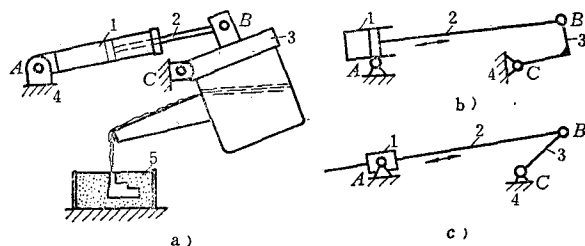


图 1-10 浇包机构

1—油缸体 2—活塞杆 3—浇包盖 4—机架 5—砂箱

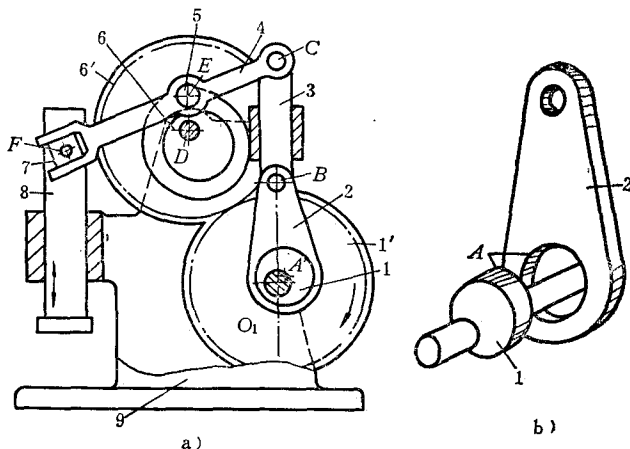


图 1-11 小型压力机

1—偏心轴 1'—齿轮 2、3、4—构件 5—滚子 6—凸轮
6'—齿轮 7—滑块 8—压杆 9—机架

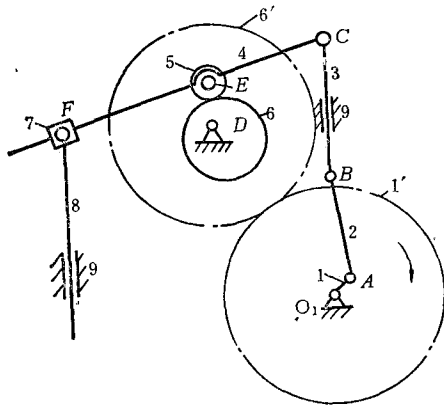


图 1-12 小型压力机机构简图

副。

4) 选择视图平面, 并以一定的比例定出各运动副之间的相对位置, 按规定的符号画出机构运动简图, 如图1-12所示。

第四节 平面机构的自由度

为了使设计的机构能够运动并具有运动的确定性, 必须讨论机构的自由度和机构具有确定运动的条件; 而机构由构件组成, 故先讨论构件的自由度。

一、构件的自由度

一个作平面运动的构件具有三个独立运动的可能性。如图1-13, 在直角坐标系中, 构件 S 可随其任一点 A 沿 x 轴及 y 轴方向移动和绕 A 点转动。这种可能出现的独立运动称为构件的自由度。因此, 一个作平面运动的自由构件具有三个自由度。

二、运动副和约束

当两个构件组成运动副后, 它们之间的相对运动受到一定的约束, 自由度就减少。以下分低副和高副两种情况讨论。

1) 低副中的转动副 (图1-1), 约束了沿 x 轴和 y 轴的移动, 只保留了绕 z 轴转动的自由度。

低副中的移动副 (图1-2), 约束了沿 y 轴的移动和绕 z 轴的转动, 只保留了沿 x 轴移动的自由度。

2) 高副有两种情况, 如图1-3 a 中凸轮与从动件在 A 处的点接触和图1-3b 中两齿在 A 处的线接触, 都只约束了沿接触处的公法线 nn 方向移动的自由度, 保留了绕接触处的转动和沿接触处公切线 tt 方向移动的两个自由度。

总之, 在平面机构中, 低副引入两个约束, 而高副引入一个约束。

三、平面机构的自由度

若一个平面机构中共有 N 个构件, 除去固定件, 则机构中的活动构件数为 $n = N - 1$ 。在未用运动副连接前, 各构件都是自由的, 应有 $3n$ 个自由度; 当用 p_L 个低副, p_H 个高副将构件联接起来组成机构后, 则引入 $2p_L + p_H$ 个约束, 即要减去 $2p_L + p_H$ 个自由度, 则可得机构自由度 F 的计算公式为

$$F = 3n - 2p_L - p_H \quad (1-1)$$

四、机构具有确定运动的条件

图1-14中, 其构件数分别为 2、3、4、5。

图1-14 c 的活动构件数为 3, 转动副数为 4, 代入式(1-1), 自由度 $F = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$ 。若给定构件 1 以某一规律转动 (即原动件), 构件 2、3 必然以一定规律随之运动, 整个机构具有确定的相对运动。

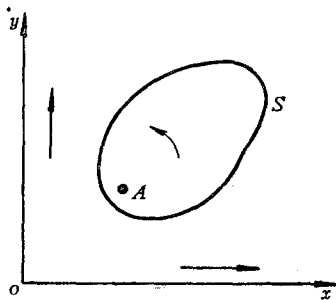


图1-13 平面运动构件的自由度

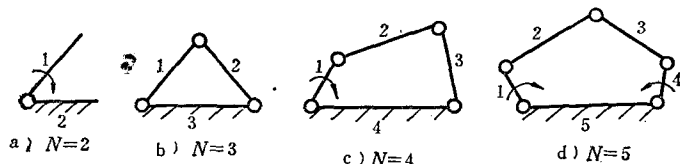


图1-14 机构具有确定运动的条件

图1-14 d 表示活动构件数为 4, 转动副数为 5, 则自由度 $F = 3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$ 。若只给定构件 1 以某一规律转动, 则构件 2、3、4 将随机乱动而运动变为不确定, 此不成为机构。若同时再给构件 4 以另一规律转动(即使它也成为原动件), 则构件 2、3 此时将有规律地运动。因此, 当机构的自由度等于 1 时, 需要有一个原动件; 当机构的自由度等于 2 时, 就需要有两个原动件。也就是机构具有确定运动的条件是: 机构的原动件数目必须等于机构的自由度。

顺便指出, 图1-14 a 中, $n = 1$, $p_L = 1$, $F = 3 \times 1 - 2 \times 1 = 1$ 。若杆 1 为原动件, 因原动件的数目等于机构自由度, 故运动是确定的。

图1-14 b 中, $n = 2$, $p_L = 3$, $F = 3 \times 2 - 2 \times 3 = 0$, 说明此为刚性桁架, 不成为机构。

例1-3 试计算图1-10所示浇包机构的自由度。

解 该机构中活动构件数为 3, 低副数为 4, 三个转动副和一个移动副, 没有高副。由式(1-1)得

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$$

该机构中有一个原动件(活塞杆 2), 因原动件数目等于机构的自由度, 故运动是确定的。

五、几种特殊情况的处理

在按式(1-1)计算机构自由度时, 要注意以下几种特殊情况。

1. 复合铰链

若三个构件在一处组成转动副, 如图1-15所示。显然, 它包含了两个转动副: 构件 1 与 2 和构件 1 与 3 之间构成的转动副。

这种两个以上构件用一个销子联接在一起的铰链, 称为复合铰链。在计算自由度时, 其转动副的个数应是汇交的构件数减 1。

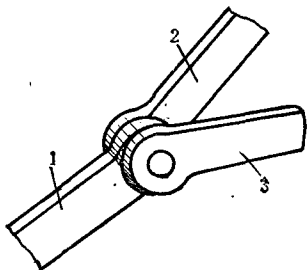


图1-15 复合铰链

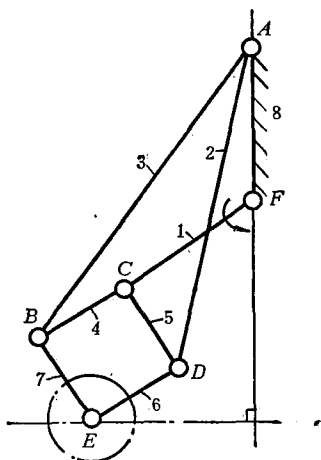


图1-16 圆盘锯机构

例1-4 图1-16所示为圆盘锯主体部分的机构运动简图, 试计算该机构的自由度。

解 机构中活动构件数 $n = 7$, A、B、C、D 四处都是由三根构件组成的复合铰链, E、F 为简单铰链, 由式(1-1)得

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1$$

该机构的自由度为 1，当原动件 1 转动时，圆盘上 E 点的运动轨迹为垂直于 AF 的直线。

2. 局部自由度

图 1-17 a 为一凸轮机构，当凸轮 1 逆时针转动时，通过滚子 3 迫使从动杆 2 在固定的导轨中作有规律的往复移动。但在计算自由度时，容易误认为

$$\begin{aligned} F &= 3n - 2p_L - p_H \\ &= 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 \\ &= 2 \end{aligned}$$

这显然与实际情况不符。公式计算结果所多余的自由度，是指滚子 3 绕其中心的自由转动。这种与整个机构主运动无关的自由度，称为局部自由度。

为了去掉这个局部自由度，可视为滚子与从动杆焊死，固接成一体，见图 1-17 b，然后再进行计算得

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$$

局部自由度虽然对整个机构的运动无影响，但可减少高副接触处的磨损，所以在实际机构中往往会出现局部自由度。

例 1-5 计算图 1-11 小型压力机的自由度。

解 偏心轴 1 和齿轮 1' 及凸轮 6 和齿轮 6' 相固联，应视作两个活动构件，滚子 5 处存在一个局部自由度，因此该机构的自由度为

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 2 = 1$$

3. 虚约束

在运动副引入的约束中，有的约束对自由度的影响是重复的。这种重复作用的约束，称为虚约束。在计算自由度时，应去掉虚约束部分。常见的虚约束有以下几种情况：

(1) 轨迹重合产生的虚约束 如图 1-18 a 所示的机构， $AB = CD = EF$ ， $BC = AD$ 。由式 (1-1) 计算自由度为

$$\begin{aligned} F &= 3n - 2p_L - p_H \\ &= 3 \times 4 - 2 \times 6 \\ &= 0 \end{aligned}$$

表示该机构是静定结构，不能转动，显然结论与实际情况不符。

若假设将构件 4 及转动副 E、F 拆除，如图 1-18 b 所示。因 ABCD 为平行四边形，BC 杆作平动，其上任一点的轨迹都是半径相等的圆弧。因此，BC 杆上 E 点的轨迹为圆心在 F 点的圆弧。这个约束由于两个圆弧轨迹重合而成为重复的约束，是虚约束。

除去虚约束部分（杆 4 及转动副 E、F）再来计算该机构的自由度得

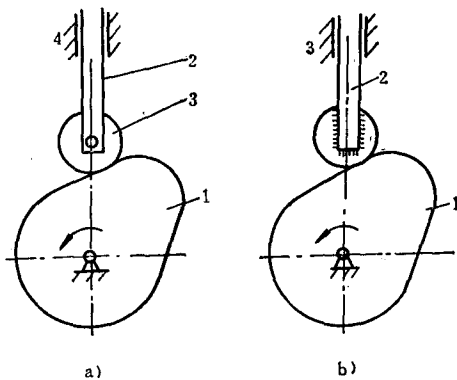


图 1-17 局部自由度

1—凸轮 2—从动杆 3—滚子

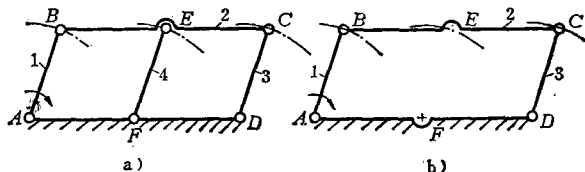


图 1-18 轨迹重合的虚约束