

机械设计基础

阎 敏 王文博 主编



机械工业出版社



机 械 设 计 基 础

阎 敏 王 文 博 主 编



机 械 工 业 出 版 社

本书较系统地阐述机械设计基础的基本理论、知识和方法。主要内容：机械组成原理、机械运动学和力学基础、机械零件常用材料及选择、联接、轴及其联轴器、带传动、链传动、齿轮传动、轮系、凸轮机构、连杆机构、其他常用机构以及机械设计综述。书后附有习题汇编。书中采用了新的设计规范和资料，在内容体系上作了新的探索。

本书适用作非机类工科专业机械设计基础课程(少学时)的教材，也可作大专、中专非机类工科专业同类课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/阎敏,王文博主编. —北京:机械工业出版社,1999.7
ISBN 7-111-07058-5

I. 机… II. ①阎… ②王… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第09688号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:张亚秋 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英

封面设计:姚毅 责任印制:何金君

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999年5月第1版第1次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·14印张·339千字

0 001—2 500册

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

机械设计基础课程,是非机类各工科专业的技术基础课程。本书是根据该课程的最新基本要求和课程改革基本趋向编写的。

目前,全国通用的有关教材是80年代初期编写的。其中的部分设计规范和资料已经过时,部分内容过于陈旧,已经不利于教学和教学改革。本书是作者在多年对该课程试行改革的基础上编写的。在内容体系以及取材上都作了新的探索,既汲取了国内外的新颖的经验,也溶入了作者研究的成果。考虑到部分院校在课程设置改革时,不再设工程力学课,本书增加了第三、四章。书中在设计规范和资料方面,尽量采用新的标准、新的资料,力求在知识更新上跟上技术发展的需要。

参加本书编写的作者有:阎敏(第一、二、十二章)、王文博(绪论、第十三、十五章),王啟(第十一章)、罗家莉(第十、十四章)、李杰(第四章)、朱莉(第八章)、孟昭祥(第九章)、任芳(第三、七章)、麦坚(第六章)、叶可(第五章)。最后由阎敏、王文博统稿。

由于水平有限,难免会有谬误或不当之处,欢迎同行专家以及读者批评指正。

作 者

目 录

前言		
绪论	1	
第一节 本课程的研究对象	1	
第二节 本课程的内容、性质和任务	1	
第一章 机构的结构分析和组成	3	
第一节 机构的组成要素	3	
第二节 机构运动简图及画法	5	
第三节 平面机构的自由度	7	
第四节 平面机构组成原理	10	
第二章 机构运动分析	13	
第一节 机构位置图、位移和轨迹	13	
第二节 速度瞬心及速度分析的瞬心法	14	
第三节 平面机构运动分析的解析法	16	
第三章 机械中的力分析	18	
第一节 机械中的作用力	18	
第二节 力的合成与分解	19	
第三节 刚体及力的基本性质	20	
第四节 平面汇交力系的合成和平衡	21	
第五节 平面一般力系的合成与平衡	23	
第六节 机械零构件受力分析	24	
第七节 摩擦、效率和自锁	26	
第四章 机件工作能力和计算基础	28	
第一节 概述	28	
第二节 轴向拉伸与压缩	30	
第三节 材料在拉伸、压缩时的力学性能	34	
第四节 剪切与挤压	35	
第五节 圆杆的扭转	36	
第六节 弯曲	39	
第七节 应力状态和强度理论	45	
第八节 组合受力时杆件的强度	47	
第九节 压杆稳定问题	49	
第十节 机件的疲劳强度	50	
第五章 机械零件的常用材料及选择	55	
第一节 机械零件的常用材料	55	
第二节 材料选择的基本原则	57	
第三节 机械零件的结构工艺性	59	
第六章 联接	61	
第一节 联接概述	61	
第二节 螺纹	61	
第三节 螺纹联接和防松装置	64	
第四节 螺纹联接的计算	68	
第五节 螺纹联接件的材料和许用应力	71	
第六节 键联接	73	
第七节 花键联接及其他轴毂联接	76	
第八节 销联接	77	
第七章 轴及其联接	79	
第一节 轴的概述	79	
第二节 轴的结构设计	81	
第三节 轴的强度计算	84	
第四节 联轴器	86	
第五节 离合器	87	
第八章 轴承	89	
第一节 滚动轴承概述	89	
第二节 滚动轴承的主要类型及代号	89	
第三节 滚动轴承类型的选择	93	
第四节 滚动轴承型号的选择	94	
第五节 轴承组合结构设计	99	
第六节 滑动轴承概述	104	
第七节 滑动轴承润滑剂的选用	108	
第八节 非液体摩擦滑动轴承的校核计算	109	
第九章 带、链传动	111	
第一节 带传动概述	111	

第二节	带传动工作情况分析	114	第一节	概述	168
第三节	V带传动的设计计算	116	第二节	从动件的运动规律	171
第四节	V带传动的张紧装置	120	第三节	盘状凸轮机构的压力角和基圆半径	174
第五节	链传动概述	121	第四节	直动滚子从动件盘状凸轮机构的设计	176
第六节	链传动的运动特性	124	第五节	其它盘状凸轮机构的设计简介	178
第七节	套筒滚子链传动设计计算	125			
第十章	齿轮传动	130	第十三章	平面连杆机构及其设计	181
第一节	概述	130	第一节	引言	181
第二节	齿廓啮合基本定律和齿廓曲线	131	第二节	四杆机构的类型和应用	182
第三节	渐开线齿廓及啮合原理	131	第三节	四杆机构有曲柄的条件及基本特性	186
第四节	标准渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数和尺寸	133	第四节	四杆机构的设计	188
第五节	渐开线直齿圆柱齿轮的连续啮合条件和正确啮合条件	136	第十四章	间歇运动机构	191
第六节	切齿基本原理、根切及避免根切的最少齿数	137	第一节	棘轮机构	191
第七节	轮齿的失效和齿轮材料	139	第二节	槽轮机构	192
第八节	直齿圆柱齿轮的强度计算	141	第三节	其他间歇运动机构	194
第九节	斜齿圆柱齿轮传动	146	第十五章	机械设计综述	195
第十节	圆锥齿轮机构	149	第一节	机器及设计程序	195
第十一节	齿轮的结构设计	152	第二节	机械工作原理和运动方案	198
第十二节	蜗杆传动	155	第三节	机构类型的选择	199
第十一章	轮系及其设计	160	第四节	组合机构及组成方式	199
第一节	概述	160	第五节	执行机构的运动协调和运动循环图	202
第二节	定轴轮系的传动比	162	习题汇编		204
第三节	周转轮系的传动比	163	参考文献		217
第四节	组合轮系	166			
第十二章	凸轮机构及其设计	168			

绪 论

第一节 本课程的研究对象

一、机械及其基本组成要素

机械是机器和机构的通称。在一部现代化的机器或机构中,常包含机械、电气、液压、润滑、冷却、控制和监测等系统(全部或几种),但其主体仍是机械系统。无论分解哪一部分机械,其机械系统总是由许多单独加工制造的零件组成的。

机械零件是机械中不可再分解的制造单元体。如各种机械中的螺栓、螺母、键、齿轮、链轮等。零件通过各种结合方式构成机械中的各个运动单元体,机械中的这种运动单元体则称为构件。构件可以是一个零件,也可以是多个零件的结合体。构件中的这种结合,常称为联接,如常见的螺纹联接、链联接、焊接、胶接等。

构件应能承受一定的外力抵抗某种变形。构件再通过各种可动联接组成机械中的运动系统,亦即机构。机构是具有确定运动的构件系统。机构中各个构件之间的可动联接,则称为运动副,如齿轮副、凸轮副、铰链副等。

机构可以独立使用,主要用来完成预期的运动,如钟表等;也可以经过各种组合方式,构成用来完成有效功或使机械能与其它形式的能相互变换的机构系统,这种机构系统就称为机器,如缝纫机、机床等。机器可以含有一个机构,也可以含有多个机构。

由上述可见,各零、构件对于一部机器或机构的整体来说,都是它的局部,都要受到全局的约束。它们或按规定的相对位置彼此联接,或按给定的规律相对运动,为共同完成机器或机构的功能而发挥其作用。

另外,还常把由一组协同工作的零件所组成的独立制造和装配的组合物称为部件,如减速器、变速器、离合器等。

二、本课程的研究对象

一般来说,机械零、构件的形态、材质和功能各式各样,难以胜数。但可以概括分为两大类:一类是在各种机械中常见的或通用的零、构件,常称为通用零构件,如齿轮、螺钉等;另一类,则是在特定类型的机械中才能用到的零、构件,叫做专用零、构件,如飞机的螺旋桨、钟表的擒纵轮。

类似地,机构也可区分为常用机构(如齿轮机构、凸轮机构、连杆机构、带传动机构、链传动机构等)和专用机构(如钟表的擒纵机构等)。

机械设计基础课程,是以通用零、构件和常用机构为主要研究对象的。

第二节 本课程的内容、性质和任务

机械设计基础课程,主要阐述的是一般机械中的常用机构和通用零件的工作原理,功能、结构特点、基本设计理论和方法,并简要地介绍有关的国家标准和规范。并在此基础上,扼要地

介绍整机设计的基本思想和程序。

本课程是非机械类工科专业的一般技术基础课程,是涉及多门理论基础课知识的综合性、实用性很强的设计性课程。

温故而知新,学生在学习本课程中应经常复习有关的数理、力学、机械制图、材料与工艺知识,并予以融会贯通。通过本课程的教学,使学生获得认识、使用和维护一般机械设备的基础知识,初步掌握一般机械装置设计的理论和方法,并具备设计简单机械装置的能力,为学习有关专业机械设备课程奠定必要的基础。

机械是人的各种功能器官(包括头脑)的延伸,是人类利用和开发创造能力的结晶。设计的本质就是创新。自工业社会开始以来,机械化愈来愈普及,机械已遍布人类各个生产领域和生活领域,乃至遍及寻常百姓家,机械产品在改变人类生活方式上的作用愈来愈广泛。学习机械设计,实际上也就在于掌握一种创造意识和创造本领,为参与改变人类生活方式和创造人类新的生存环境做好准备。

第一章 机构的结构分析和组成

第一节 机构的组成要素

机构是具有确定运动的构件系统,其组成要素有构件和运动副。

一、构件及其类型

构件是机构中的彼此相对运动的运动单元体。一个构件可以是一个单独制造的零件,如图 1-1a 所示的简单连杆;也可以是由若干零件联接构成的组合体,如图 1-1b 所示的结构复杂的连杆。

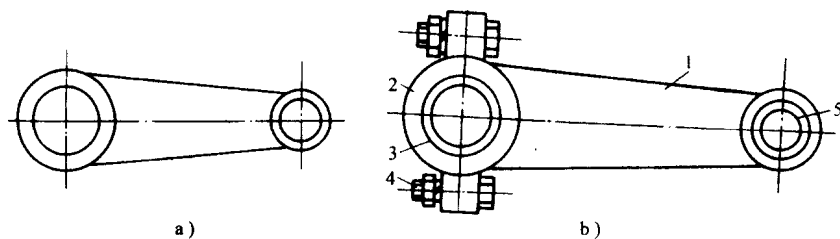


图 1-1 连杆结构

1—连杆体 2—连杆头 3—轴瓦 4—螺栓、垫圈、螺母 5—轴套

构件用来实现预期的运动和传递动力,因此应具备承受一定的外力和抵抗一定变形的能力。

构件依其在机构中的地位和功能区分为机架、主动件、联动件和从动件。机架是机构中相对静止用以支承各运动构件运动的构件,如图 1-2 所示内燃机主体机构的气缸体 4;主动件又称为原动件或输入件,是输入运动及动力的构件,如活塞 1;从动件又称被动件或输出件,是直接完成机构运动要求,跟随主动件运动的构件,如曲柄 3;联动件是联接主、从动件的中介构件,如连杆 2。

二、运动副及其类型

两构件之间的活动联接,称为运动副。两构件上直接参与组成运动副的几何元素,则称为运动副元素。

运动副的特征是由“自由度”和“约束度”来描述的。运动副的自由度,就是一个运动副允许组成它的两个构件之间的运动的数量;而运动副的约束度,则是一个运动副对组成它的两个构件之间的相对运动数量的限制。

如图 1-3a 所示,一个处于自由状态的构件在空间

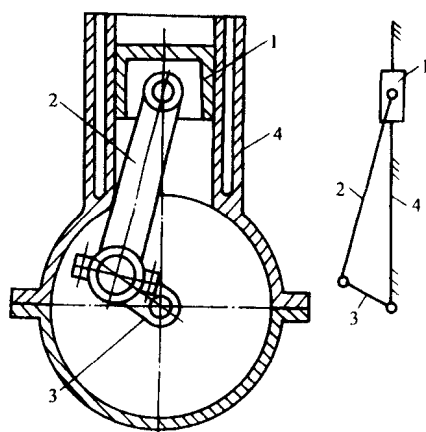


图 1-2 内燃机结构及
机构运动简图

1—活塞 2—连杆 3—曲柄 4—气缸体

可能有 3 个独立的移动和 3 个独立的转动,故有 6 个自由度;而在平面上(图 5-3b),则最多只能有 2 个独立的移动和 1 个独立的转动,故有 3 个自由度。

两个构件之间用运动副联接以后,运动副对它们之间的相对运动就予以限制,以 f 和 h 分别表示运动副的自由度和约束度,则两者之和应等于构件处于自由状态时的自由度,即

在空间: $f+h=6$

在平面: $f+h=3$

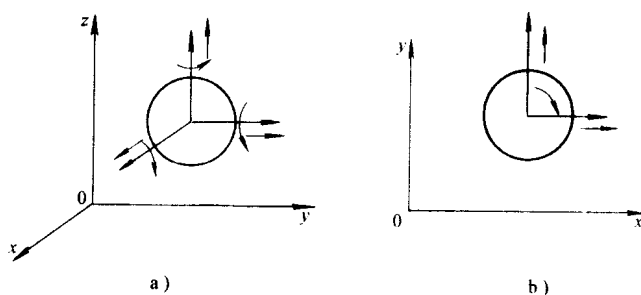


图 1-3 构件自由度

表 1-1 列举了常见运动副的类型、结构、简图、自由度和约束度(括号内值,是在平面上运动时的值)。

表 1-1 运动副及其简图符号

名称	结 构 简 图	约 束 度 数	自 由 度 数	代 号	名称	结 构 简 图	约 束 度 数	自 由 度 数	代 号
球 面 高 副		1	5		球 销 副		4	2	S'
圆 柱 高 副		2	4		圆 柱 副		4	2	C
球 面 副		3	3	5	平 面 高 副		4 (1)	2	

(续)

名称	结 构 简 图	约束 度数	自由 度数	代 号	名称	结 构 简 图	约束 度数	自由 度数	代 号
转 动 副		5 (2)	1	R	移 动 副		5 (2)	1	P

按运动副许可的两构件之间的相对运动是平行平面运动还是空间运动,可把运动副分为平面运动副和空间运动副。表中所列的平面高副、转动副和移动副为平面运动副;其余如球面副、球销副等,均为空间运动副。

如表所示,运动副元素之间的“接触形式”有点、线或面。在负载相同的情况下,点、线接触比压高,故称为高副,如平面高副有齿轮副、凸轮副等;而面接触比压低,故称为低副,如转动副、移动副等。

维持两运动副元素始终“接触”是构成运动副的充要条件,为此采取的结构措施常称为锁合(图 1-4)。依锁合方式不同,运动副又有形锁合和力锁合之分。形锁合是凭几何形体完成的锁合,绝大部分低副如转动副等都是形锁合;力锁合是靠自重或外力(弹簧力等)形成的锁合,如某些平面高副等。图 1-4 示出了两种锁合的原理图。

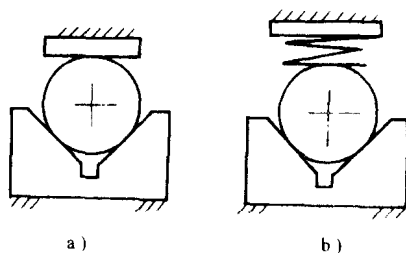


图 1-4 运动副的锁合

第二节 机构运动简图及画法

凡采用构件和运动简图按一定尺寸比例绘制,能完成机构的运动分析和力分析的机构简图,常称为机构运动简图。表 1-2 列举了常见构件和运动副的简图。

表 1-2 常用构件和运动副简图符号

名 称	简 图 符 号	名 称	简 图 符 号
机 架		多副杆	
杆、轴			
双副杆			

(续)

名 称	简图符号	名 称	简图符号
凸轮副		齿轮齿条副	
带-带轮副		圆锥齿轮副	
链-链轮副		蜗杆副	
圆柱齿轮副			

图 1-5a 所示为偏心轮滑块机构模型,其运动简图如图 1-5b 所示。现以此为例,来说明绘制机构运动简图的方法和程序:

1. 认清机架、主动件及其余构件,并予以编号。如图所示,有机架 4、主动件即偏心轮 1。在偏心轮驱动下,经连杆 2 带动滑块 3 沿机架导路移动。

2. 识别各构件之间的相对运动和“接触”形式,判断各运动副的类型,并顺次标注字母。图中偏心轮 1 绕定轴线 O 转动, O 处为转动副;连杆 2 和偏心轮 1 绕轮 1 轴线 A 转动, A 处也是转动副;连杆另一端与滑块 3 绕轴线 B 相对转动, B 处也有转动副;滑块 3 在机架导路中移动,组成一移动副,注以字母 C 。

3. 将主动偏心轮定位某一方便绘制机构运动简图的位置上,测出各构件上与机构运动有关的尺寸、转动副中心的位置,移动副的移动方位。如有凸

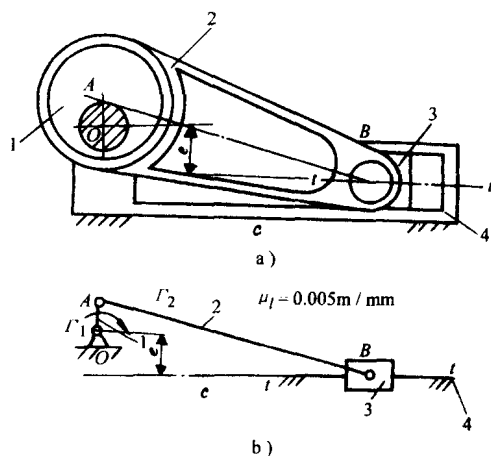


图 1-5 偏心轮滑块机构及运动简图

1—偏心轮 2—连杆 3—滑块 4—机架

轮,还要测其廓线形状。

经测量得知,该机构模型各部尺寸为: $r_1=50\text{mm}$, $r_2=200\text{mm}$, $e=60\text{mm}$,以 OA 的铅垂位置为作图位置。

4. 选择图幅和作图比例尺 μ_l ($\mu_l = \text{实长}/\text{图长}$, 单位一般为 m/mm 、 cm/mm 等), 作好布图, 用构件和运动副简图按比例画出机构运动简图, 并注出 μ_l 及其单位。

参见图 1-5b, 可先画出转动副 O , 并按尺寸 e 画出滑块移动方位 $t-t$; 画出曲柄 1 的铅垂位置, 按尺寸 r_1 画出转动副 A 的位置; 以 A 为圆心, r_2 为半径画弧与 $t-t$ 线交于 B 点, 即为连杆和滑块的铰接中心, 亦即转动副 B 的位置, 在此处画出滑块 3, 即得该机构运动简图; 注出比例尺 μ_l 。

第三节 平面机构的自由度

机构的自由度, 即机构作确定运动时所必须给定的 (亦即输入的) 独立运动参数的数量。实际上, 它就是机构所有运动构件用运动副连接, 组成机构以后余下的自由度总数。

一、平面机构自由度的计算公式

如前所述, 每个作平面运动的自由构件都有 3 个独立的自由运动, 即 3 个自由度; 而在平面运动中, 每个平面低副都有 2 个约束度, 每个高副只有 1 个约束度。设平面机构中共有 n 个运动构件, p_2 个平面低副 (转动副和移动副的总数) 和 p_1 个平面高副。这样, n 个运动构件在组成机构之前, 共有 $3n$ 个自由度; 在用运动副组成机构之后, 就形成了 $2p_2 + p_1$ 个约束。因此, 可得平面机构的自由度, 即运动构件余下的自由度总数为:

$$F = 3n - 2p_2 - p_1 \quad (1-1)$$

图 1-6 所示的工业平缝机的穿针—挑线机构中, 共有 5 个运动件, 6 个转动副和 1 个移动副, 亦即 $p_2=7$, $n=5$, $p_1=0$ 。将这些值代入上式, 即得该机构的自由度

$$F = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$$

图 1-7 所示机构中, $n=4$, $p_2=5$, $p_1=1$, 代入式 (1-1), 则得该机构的自由度

$$F = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$$

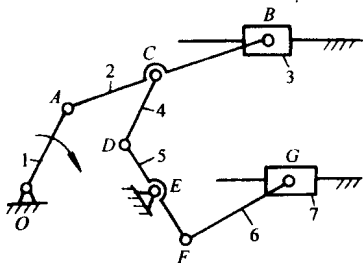


图 1-6 平缝机穿针—挑线机构

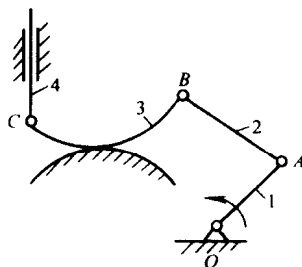


图 1-7 高副机构

二、计算机构自由度时的注意事项

在推导计算平面机构自由度的一般公式 (1-1) 的过程中, 仅考虑了各个运动副引入的约束度数, 而未考虑到一些特殊情况, 如某些机构会出现运动副的特殊组合, 以及运动副之间相对尺寸的特殊配置等。因此, 在应用该公式时, 必须特别注意下列一些问题:

1. 复合铰链 即多个(≥ 3)构件组成的轴线重合的两个以上(≥ 2)的转动副。图 1-8 所示的复铰,就是由 4 个构件组成的含有 3 个转动副的复合铰链。

由于投影的原因,复铰的各个转动副在机构运动简图中往往重合为一,但在计算转动副数时不能误数为 1。那么,如何正确判断复铰处的转动副数呢? 设复铰由 m 个构件组成,则复铰处的转动副数应为构件数减 1,即

$$p_2 = m - 1 \quad (1-2)$$

图 1-9 所示直线仪机构中有 7 个运动件,即 $n=7$;在 A、B、D 和 E 处均为复铰,各有 2 个转动副,故 $p_2 = 4p_2' + 2 = 4 \times 2 + 2 = 10$ 。因此该机构的自由度:

$$F = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$$

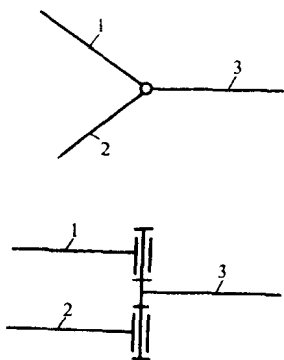


图 1-8 复合铰链

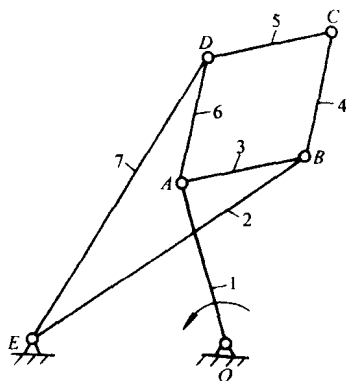


图 1-9 直线仪机构

2. 局部自由度 是指对整个机构运动无关的局部独立运动。例如为了减少凸轮机构高副处的摩擦磨损,常采用滚子从动件,如图 1-10a 所示,滚子 B 绕其轴线的自由转动毫不影响从动件 2 的运动。这种局部的独立运动,便是局部自由度。

在用式(1-1)计算机构自由度时,应事先排除局部自由度。比如,假想把滚子焊在与其铰接的构件上,如图 1-10b 所示。这样,图示凸轮机构的自由度:

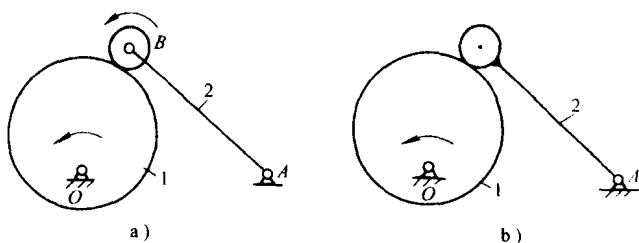


图 1-10 凸轮机构

$$F = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$$

3. 虚约束 又称重复约束,即指对整个机构运动无影响的、其作用与相关约束重复的约束。它是在机构中采用运动副的特殊组合及构件尺寸的特殊配置等情况下发生的,情况比较复杂。

首先,虚约束常出现在两个构件组成多个(≥ 2)运动副,且它们的约束彼此重复互不影响时。如图 1-11 所示两构件组成轴线重合的 3 个转动副,其中 1 个为实约束,另 2 个即是虚约束。

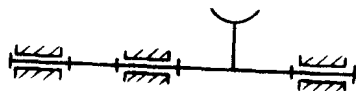


图 1-11 重复转动副

图 1-12 所示是两个构件组成运动方位平行的 2 个移动副,其中一个为实约束,另一个即为虚约束;图 1-13 所示为一槽道凸轮副,滚子两侧与槽道接触,在工作时只一侧高副起约束作用,另一侧高副为虚约束。

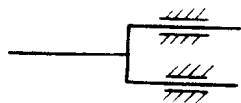


图 1-12 重复移动副

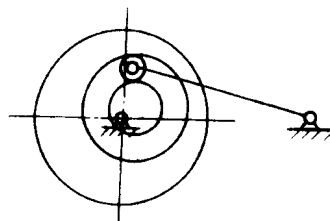


图 1-13 槽道凸轮副

其次,虚约束常出现在对称性或均布性的重复结构中。如图 1-14 所示行星轮系中,两个行星轮 2 均布(对称)在同心的两个中心轮 1 和 3 之间,从运动学来看,只有一个就足够了,而另一个提供的约束完全是重复性的,故为虚约束。

第三,两构件铰接点连接前轨迹重合,也出现虚约束。如图 1-15 所示双平行四边形机构,其中杆 4 与杆 1、3 平行且等长,杆 4 和 2 在 C 处铰接,铰接前杆 4 上的 C_4 点和杆 2 上的 C_2 点的轨迹,都是以 C_0 点为圆心、 C_0C 长为半径的圆,即重合。因此杆 4 提供的 1 个约束,对机构自由度没影响,是虚约束。

在计算含有虚约束的机构自由度时,应事先排除虚约束结构。例如对图 1-15 所示机构,应先假想去掉双副杆 4,这时机构中的 $n=3$, $p_2=4$,机构的自由度

$$F=3n-2p_2-p_1=3\times 3-2\times 4-0=1$$

4. 瞬时转动副 在联动件为挠性件(带或链条等)时,其直边(紧边)与刚轮(带轮或链轮等)的切点,类似转动副,可称为瞬时转动副。如图 1-16 所示带机构中的 A 和 B 处,在计算机机构自由度时,可看作平面低副。

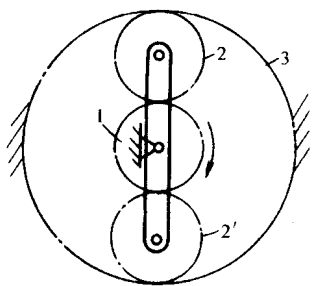


图 1-14 行星轮系

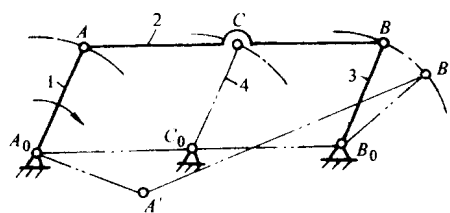


图 1-15 双平行四边形机构

在计算挠性件传动机构的自由度时,应将松边视为虚约束,预先排除,把紧边和主从动刚轮视为运动件。据此,可得图 1-16 所示机构的自由度

$$F=3n-2p_2-p_1=3\times 3-2\times 4-0=1$$

5. 公共约束 在某些机构中,所有运动件受到的约束,则称为公共约束。例如只含有移动副的平面机构中,所有构件都被限制无转动,因此就有 1 个公共约束,图 1-17 所示全移动副机构即是一例。对于全移动副平面机构,自由度公式应为:

$$F=(3-1)n-(2-1)p_2=2n-p_2 \quad (1-3)$$

在图 1-17 所示机构中, $n=3, p_2=5$, 代入上式, 可得

$$F=2n-p_2=2\times 3-5=1$$

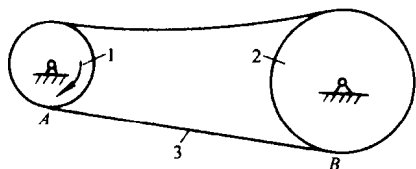


图 1-16 带传动机构

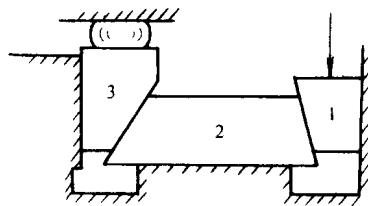


图 1-17 全移动副机构

第四节 平面机构组成原理

本节根据机构具有确定运动的条件, 来讨论平面机构的组成问题。

一、机构具有确定运动的条件

机构自由度是其独立运动的数量, 若使机构实现预期的运动, 就应由主动件的输入运动来控制; 而主动件常用平面低副与机架连接, 每个主动件只能输入 1 个确定的运动。因此, 只有使主动件数 n_i 恒等于机构自由度 F , 机构才具有确定的运动。故机构具有确定运动的条件为:

$$n_i = F \quad (1-4)$$

分析现有机件或设计新机械的机构运动简图, 应验证是否满足该条件。若 $n_i < F$, 则机构乱动; 若 $n_i > F$, 则机构不动而变为桁架。例如如图 1-18 所示机械装置, 是想把杆 2 输入的直动变成杆 1 的摆动, 计算自由度得 $F=3n-2p_2=3\times 2-2\times 3=0$, 即该结构不能动, 需改进设计。

由式(1-1)可知, 调节参数 n 、 p_2 和 p_1 值, 可改变 F 值。比如增加 1 个含 1 个低副的杆, 或将 1 个低副变成 1 个高副等, 都可增加 1 个自由度。因此, 可采用图 1-19 所示各种方案来改进图 1-18 所示的设计方案。

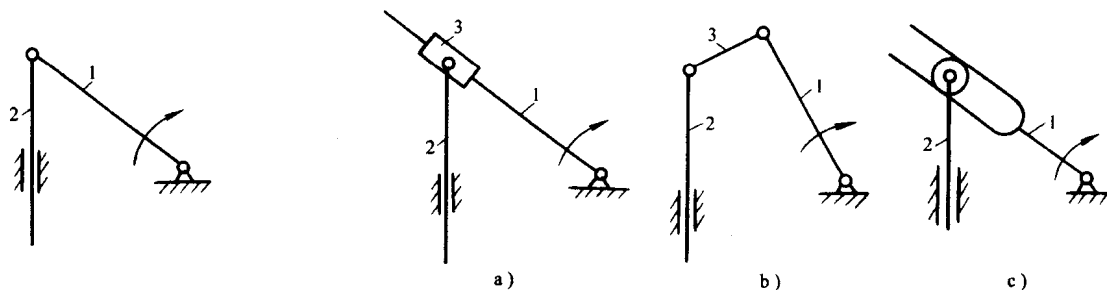


图 1-18 $F=0$ 的“机构”示例

图 1-19 图 1-18 改进方案

二、常用基本机构

常用各种基本机构是由数量最少的构件和运动副组成的机构, 包括自由度等于 1 和 2 的连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等。由这些基本机构经适当方式的演化、变异或组合, 可组成各种派生型式或更为复杂多变的机构。

1. 单自由度的基本机构 即只有 1 个主动件的机构,包括只含低副的低副机构和以高副为主的高副机构。根据式(1-1),对于低副机构可写出

$$F = 3n - 2p_2 = 3 \times (N - 1) - 2p_2 = 1$$

其中 $N = n + 1$, 是机构构件总数, 含机架和运动构件数。由该式可得这种低副机构的低副数和构件数的关系式, 即

$$p_2 = \frac{3}{2}N - 2 \quad (1-5)$$

由于 N 和 p_2 均为正整数, 则当 $N = 2$ 时, $p_2 = 1$; $N = 4$ 时, $p_2 = 4$ 。前者如图 1-20 所示电动机机构, 后者如图 1-21 所示机构, 图 a 为铰链四杆机构, 图 b 为带(或链)传动机构。

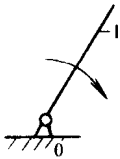


图 1-20 电动机机构

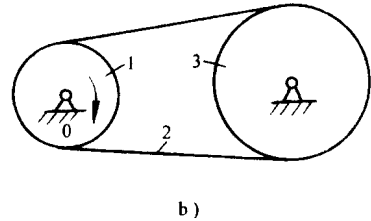
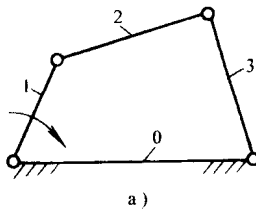


图 1-21 单自由度低副机构

对于单自由度高副机构, 由式(1-1)可写出:

$$F = 3(N - 1) - 2p_2 - p_1 = 1$$

如取 $p_1 = 1$, 则由此式得

$$p_2 = (3N - 5)/2 \quad (1-6)$$

显然, 应是 $N \geq 3$ 。当 $N = 3$ 时, $p_2 = 2$, 即为最简单的高副机构。因此, 基本的凸轮机构和齿轮机构的运动简图如图 1-22 所示, 都是三构件机构。

2. 双自由度基本机构 又称差动机构, 是具有 2 个自由度的机构。对于差动连杆机构, 由式(1-1)可写出

$$F = 3(N - 1) - 2p_2 = 2$$

由此式得

$$p_2 = (3N - 5)/2 \quad (1-7)$$

按此式有: $N = 3, p_2 = 2$; $N = 5, p_2 = 5$ 。前一种为万式机构, 用于机械手等, 如图 1-23 所示; 后一种组成五杆机构, 如图 1-24 所示。

对于双自由度高副机构, 可由式(1-1)写出

$$F = 3(N - 1) - 2p_2 - p_1 = 2$$

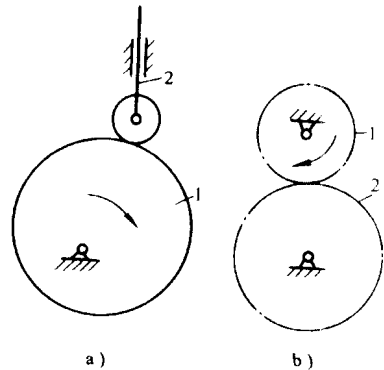


图 1-22 单自由度高副机构