

机械设计基础教程

王文博 主编



 海军出版社

TH122
W370.1/2

机械设计基础教程

王文博 主编

海洋出版社

2005年·北京

内容简介

本书系统而简明地阐述了机械设计基础的基本理论知识和方法,并注重从创造学角度培养学生的创造性思维和智能。主要内容有:机械组成原理、机械运动学和力学基础;连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构;机械零件常用材料选择、联接、轴及轴承、齿轮传动及轮系、带链传动;机械设计综述。

本书系原机械设计基础和原工程力学两门课程的整合教材,适用作非机类工科专业机械设计基础(少学时)的教材,也可用作大、中专非机类工科专业同类课程的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础教程 / 王文博主编. —北京: 海洋出版社, 2005

ISBN 7-5027-6399-6

I. 机… II. 王… III. 机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 089794 号

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京市朝阳展望印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 14.5

字数: 360 千字 印数: 1~3000 册

定价: 28.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

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。但由于各专业要求的不同,又分为多学时和少学时的。随着知识信息洪流的蓬勃发展,新学科、新课程不断引入高校课程体系,传统学科进入新的整合阶段。本书正是在这种整合过程中重新构建的,它是适应少学时课程需要,原机械设计基础课程和原工程力学课程的重新整合。经过近几年的实践,构建了新的内容体系,使两门课程融合为一个有机的整体。在编著这本教材时,力求成为一种精品。纵观全书,有如下特点:

首先,突出设计的本质,力求观念新。机械设计基础课程是设计类课程,按理应体现设计的基本特点,即创新性、综合性、多方案性、优选性等。但在传统教材中只注重介绍机械设计基础知识,往往忽略了设计是创造性活动这个本质,轻视设计智能的训练,特别是发散性思维的训练。本书强化了创造性理念的培养,并列举了培养发散性思维的新的范例。

其次,运用系统论的思想,追求体系新。本书力求将原机械设计基础和原工程力学两门课程整合为有机的整体,避免拼盘式教材的缺陷,从而构建了新的内容体系,做到内容联系紧密,前后呼应,统一思路,方法一致。例如,在运动分析一章突出了瞬心法,而后在齿轮传动一章证明齿廓啮合基本定律以及在凸轮设计一章推导压力角计算公式时,都应用此法,既直观又简明。又如,在凸轮、轮系各章中都运用反转法,这样,就可使学生充分了解和掌握机械设计基础最基本的分析和解决问题的共同方法。

机构是整个机械的核心,机械和建筑物一样,都由若干零构件组成,但建筑构件之间为固定联接,而机构的构件之间是活动联接,即运动副。显然,机构设计应成为整个机械设计的核心。机构的设计主要包括运动设计、构件承载能力设计和结构设计。机械设计基础的内容,都可以用这个思路统一起来,亦即用机构运动简图及其构件、运动副的结构设计统一起来。运用系统论思想,就把握了课程新体系的主线,从而构建了新教材的内容体系。

在这种整体思路的指导下,前三章阐述了机械中机构系统的组成原理、运动

和力的分析;四至六章主要阐述了连杆机构、凸轮机构和间歇机构的设计;七、八章简明而系统阐述机件(零、构件)的工作能力和计算基础,以及材料选择;第九至十一章,穿插了联接、轴、轴承,突出零构件和转动副的结构设计;十二至十四章阐述的机械最常用的传动设计,即齿轮传动设计和带链传动设计;最后一章,归结为机械设计综述,既是课程的总结,又是从整机设计高度的一种概括,并与第一章内容相呼应。

第三,突破传统教材内容上的局限,做到内容出新。传统的机械设计基础和工程力学教材虽然也几经精简、改革,内容上仍是“古典”的多,有些理论和方法比较陈旧,例如四杆机构的分类法(演化法)和设计法(平面几何法、实验法)、凸轮机构的图解法等。在对传统内容认真分析的基础上,进行了必要的内容更新,例如,在第一章,我们突破了只讲机构自由度计算的局限,增加了单、双自由度机构的结构组成;在“机构运动分析”一章,删去了古典运动分析法,突出了瞬心法和现代运动分析法;在第四章将四杆机构分类法弃“演化法”改用“组合法”,不但简明易懂,而且有利于培养创新思维;在“轮系”一章,将意义不明确的“混合轮系”改称为意义明确、思路清晰的“组合轮系”,这种改动符合创造学中的组合创造技法,而且便于传动比计算的重新模式化。

除上述特点,本书还对设计资料进行了全面更新。

在本书编著过程中,体现了作者们多年教学改革的经验,同时也参考了国内外同行们的研究成果,在此致以深切的谢意。

本书由王文博主编。参加本书编著的作者有:陈明艳(第一、二、四、五、六、十一、十四章)、贾云萍(第三、七章)、李杰(第九、十章)、罗家莉(第十二、十三章)、王文博(其余各章)。最后由王文博统稿,并由王文博、陈明艳对全书进行了通读和校对。

由于作者们水平有限,难免有谬误或不当之处,欢迎同行专家以及读者批评指正。

作 者

2005年3月于北京服装学院

目 次

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	(2)
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	(15)
第一节 机构位置图、位移和轨迹	(15)
第二节 速度瞬心及速度分析的瞬心法	(16)
第三节 平面机构运动分析的解析法	(18)
第三章 机械中的力分析	(20)
第一节 机械中的作用力	(20)
第二节 力的合成与分解	(21)
第三节 刚体及力的基本性质	(22)
第四节 平面汇交力系的合成和平衡	(23)
第五节 平面一般力系的合成与平衡	(25)
第六节 机械零构件受力分析	(26)
第七节 摩擦、效率和自锁	(28)
第四章 平面连杆机构及其设计	(30)
第一节 引言	(30)
第二节 四杆机构的类型和应用	(31)
第三节 四杆机构有曲柄的条件及基本特性	(35)
第四节 四杆机构的设计	(37)
第五章 凸轮机构及其设计	(45)
第一节 概述	(45)
第二节 从动件的运动规律	(48)
第三节 盘状凸轮机构的压力角和基圆半径	(51)
第四节 直动滚子从动件盘状凸轮机构的设计	(54)
第五节 其他盘状凸轮机构的设计简介	(57)
第六章 间歇运动机构	(59)
第一节 棘轮机构	(59)
第二节 槽轮机构	(60)

第三节 其他间歇运动机构	(62)
第七章 机件工作能力和计算基础	(63)
第一节 概述	(63)
第二节 轴向拉伸与压缩	(65)
第三节 材料在拉伸、压缩时的力学性能	(69)
第四节 剪切与挤压	(70)
第五节 圆杆的扭转	(71)
第六节 弯曲	(73)
第七节 应力状态和强度理论	(80)
第八节 组合受力时杆件的强度	(82)
第九节 压杆稳定问题	(84)
第十节 机件的疲劳强度	(86)
第八章 机械零件的常用材料及选择	(90)
第一节 机械零件的常用材料	(90)
第二节 材料选择的基本原则	(92)
第九章 联接	(95)
第一节 联接概述	(95)
第二节 螺纹	(95)
第三节 螺纹联接和防松装置	(98)
第四节 螺纹联接的计算	(102)
第五节 螺纹联接件的材料和许用应力	(105)
第六节 键联接	(108)
第七节 花键联接及其他轴毂联接	(111)
第八节 销联接	(113)
第十章 轴及其联接	(115)
第一节 轴的概述	(115)
第二节 轴的结构设计	(117)
第三节 轴的强度计算	(119)
第四节 联轴器	(121)
第五节 离合器	(123)
第十一章 轴承	(125)
第一节 滚动轴承概述	(125)
第二节 滚动轴承的主要类型及代号	(125)
第三节 滚动轴承类型的选择	(129)
第四节 滚动轴承型号的选择	(130)
第五节 轴承组合结构设计	(135)
第六节 滑动轴承概述	(140)
第七节 滑动轴承润滑剂的选用	(144)
第八节 非液体摩擦滑动轴承的校核计算	(145)

第十二章 齿轮传动	(150)
第一节 齿轮传动特点和类型	(150)
第二节 齿廓啮合基本定律和齿廓曲线	(151)
第三节 渐开线齿廓及啮合原理	(151)
第四节 标准渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数和尺寸	(153)
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	(156)
第六节 切齿基本原理、根切及避免根切的最少齿数	(157)
第七节 轮齿的失效和齿轮材料	(160)
第八节 直齿圆柱齿轮的强度计算	(162)
第九节 斜齿圆柱齿轮传动	(168)
第十节 圆锥齿轮机构	(172)
第十一节 齿轮的结构设计	(175)
第十二节 蜗杆传动	(178)
第十三章 轮系及其设计	(184)
第一节 概述	(184)
第二节 定轴轮系的传动比	(186)
第三节 周转轮系的传动比	(187)
第四节 组合轮系	(190)
第十四章 带、链传动	(194)
第一节 带传动概述	(194)
第二节 带传动工作情况分析	(197)
第三节 V带传动的设计计算	(199)
第四节 V带传动的张紧装置	(204)
第五节 链传动概述	(205)
第六节 链传动的运动特性	(208)
第七节 套筒滚子链传动设计计算	(209)
第十五章 机构设计综述	(214)
第一节 机器及设计程序	(214)
第二节 机械工作原理和运动方案	(217)
第三节 机构类型的选择	(218)
第四节 组合机构及组成方式	(218)
第五节 执行机构的运动协调和运动循环图	(221)
参考文献	(223)

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他形式的能相互变换的机构系统,这种机构系统称为机器,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。综上,可绘出图 0-1 所示的机械组成要素及其相互关系图。

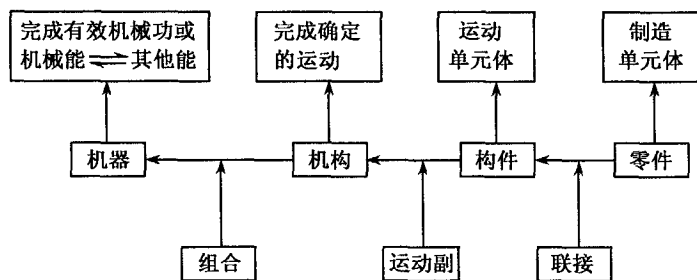


图 0-1 机械组成要素及其组成

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,称为专用零、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。

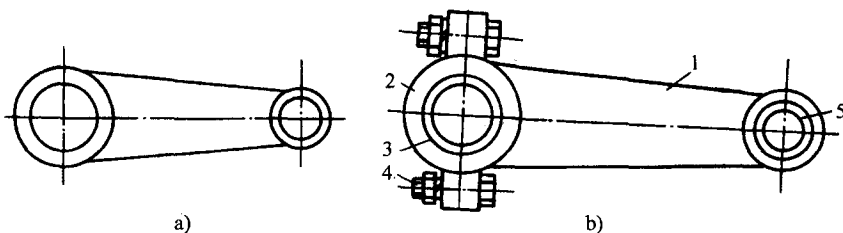


图 1-1 连杆结构

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,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。

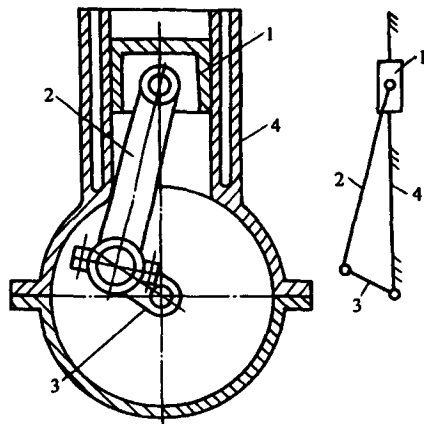


图 1-2 内燃机结构及
机构运动简图

1. 活塞; 2. 连杆; 3. 曲柄; 4. 气缸体

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相对运动的数量;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 1-3b),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: $f + h = 3$

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)。

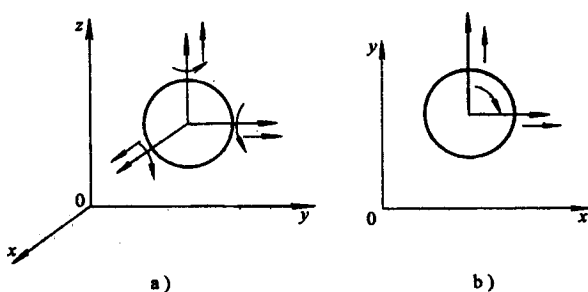
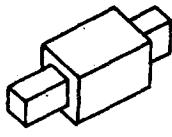
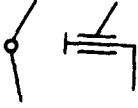
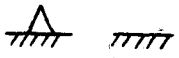


图 1-3 构件自由度

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	S	平面高副		4 (1)	2	

续表

名称	结 构	约束 度数	自由 度数	代号	名称	结 构	约束 度数	自由 度数	代号
	简 图					简 图			
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、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。

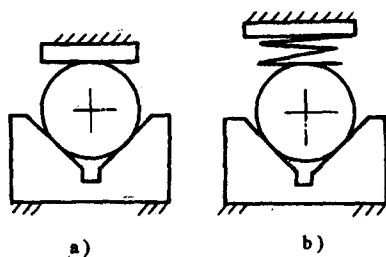
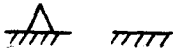
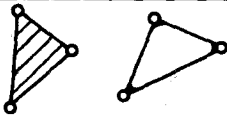
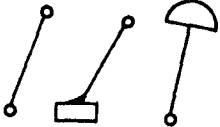


图 1-4 运动副的锁合

第二节 机构运动简图及画法

凡采用构件和运动副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			

续表

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

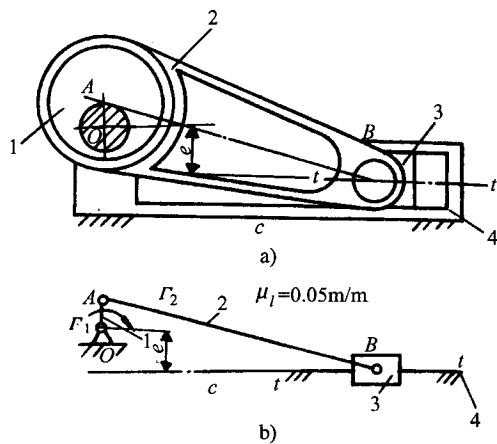


图 1-5 偏心轮滑块机构及运动简图

1. 偏心轮; 2. 连杆; 3. 滑块; 4. 机架

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。如有凸轮,还要测其廓线形状。

经测量得知,该机构模型各部分尺寸为: $r_1 = 50\text{mm}$, $r_2 = 200\text{mm}$, $e = 60\text{mm}$,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一挑线机构中,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

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

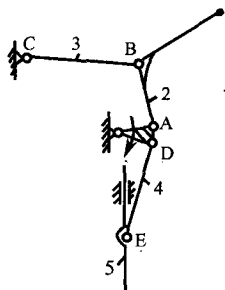


图 1-6 平缝机穿针一挑线机构

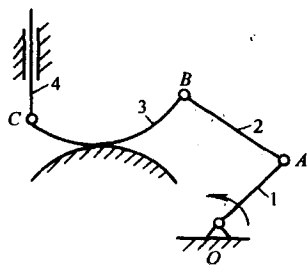


图 1-7 高副机构

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 3 个构件组成的含有 2 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:

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

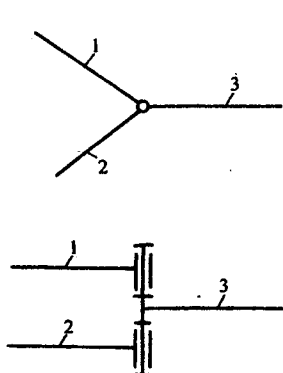


图 1-8 复合铰链

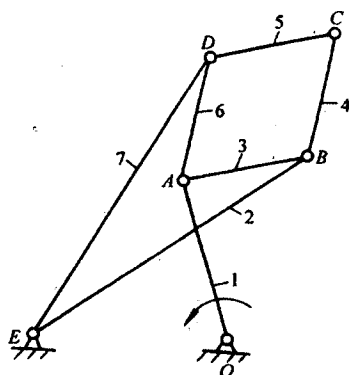


图 1-9 直线仪机构

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。

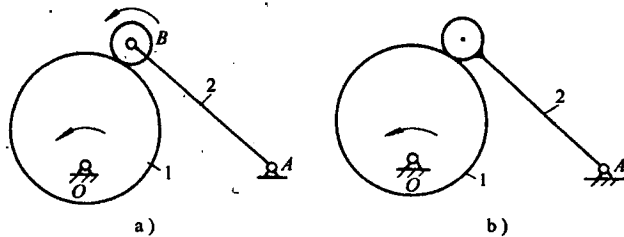


图 1-10 凸轮机构

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:

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

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 个即为虚约束。

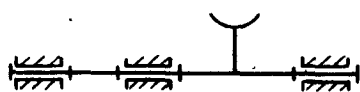


图 1-11 重复转动副

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。

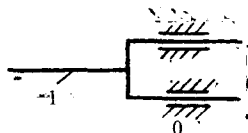


图 1-12 重复移动副

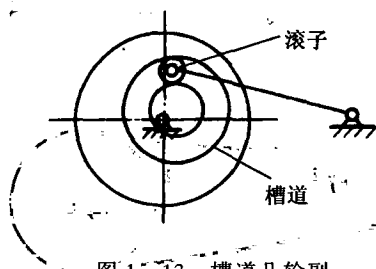


图 1-13 槽道凸轮副

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。如图 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 所示带传动机构中的 A 和 B 处,在计算机构自由度时,可看做平面低副。

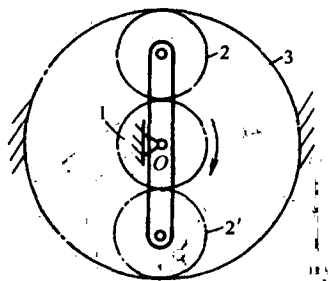


图 1-14 行星轮系

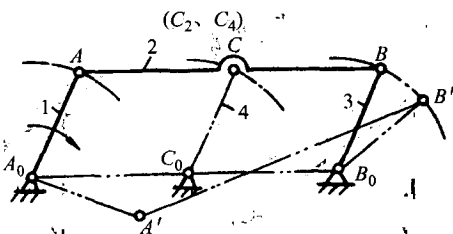


图 1-15 双平行四边形机构

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