

机械原理

傅祥志 主编

半工

H111
99

工上

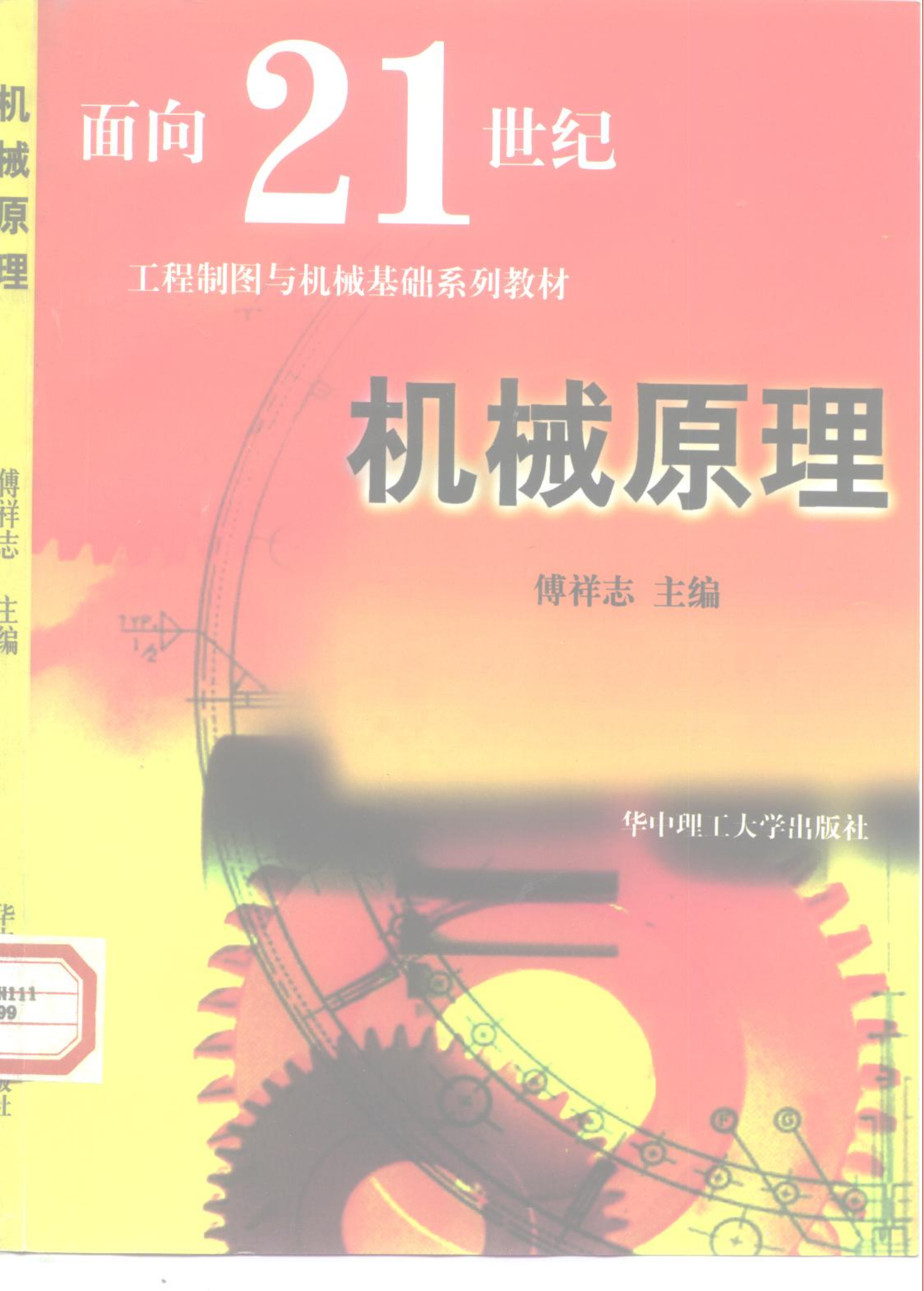
面向 21 世纪

工程制图与机械基础系列教材

机械原理

傅祥志 主编

华中理工大学出版社



T-111
F99

442869

工程制图与机械基础系列教材

机械原理

傅祥志 主编

傅祥志 杨家军 吴丕兰 编

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/傅祥志 主编
武汉:华中理工大学出版社, 1998年10月
ISBN 7-5609-1839-5

I. 机…
Ⅱ. ①傅… ②杨… ③吴…
Ⅲ. 机构学-教材
Ⅳ. TH111

工程制图与机械基础系列教材

机械原理

傅祥志 主编

责任编辑:钟小珉

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社照排室排版

武汉市科普教育印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:412 000

1998年10月第1版 1998年10月第1次印刷

印数:1—2 000

ISBN 7-5609-1839-5/TH·95

定价:15.50元

(本书如有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

内 容 简 介

本书是面向 21 世纪机械基础系列课程的改革教材之一。本书以常用机构及机构系统设计为主线,注意取材的先进性与实用性,以及现代内容与传统内容的相互渗透与融合,着重培养学生的创新意识与能力,特别加强了机构及其系统方案设计的内容。全书分为三篇,第一篇(一至三章)阐述机构组成原理及性能分析;第二篇(四至九章)阐述连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构、组合机构、螺旋机构及带与链传动机构及其运动设计方法;第三篇(十至十三章)阐述机构及其系统方案设计,并结合机构方案设计,简要介绍了创新设计原理、创新思维方法等。

本书可作为高等学校机械类各专业机械原理课程的教材,也可作为近机类各专业的相关课程的教学参考书,亦可供有关工程技术人员参考。

2015.6.7

前 言

为了迎接新世纪的挑战,适应社会对具有创新意识与能力的机械工程技术人才的需求,在承担国家教委面向 21 世纪课程体系和教学内容改革项目——“工程制图及机械基础系列课程教学内容与课程体系改革”的过程中,我们充分研究了本课程在机械基础系列课程中的重要地位与作用。在系列课程整体优化与协调的基础上,吸取我校自 80 年代中期以来本课程的体系与教学内容改革的经验,将本书在教学体系与内容上进行了系统改革。为此,本书在阐述本课程的内容时,在体系上,是以常用机构及机构系统设计为主线,使设计与分析的内容紧密结合;在内容取舍上,注意先进性与实用性,使传统内容与现代内容相互渗透与融合;在设计与分析方法的选用上,是以讲解便于应用计算机求解的解析法为主,对于几何法,只介绍少数有利于建立几何概念且简便易行的方法;在内容编排上,大胆创新,将有利于培养学生创新意识和能力的设计内容置于突出位置,特别是加强了机构及其系统方案设计的内容。本书共分三篇:第一篇阐述机构组成原理及性能分析;第二篇阐述机构及其运动设计;第三篇阐述机构及其系统方案设计。

应当指出的是:与现行机械原理教材相比,本书在内容的深度与广度方面也作了较大调整。一般说来,所涉及的内容更为宽广,而不少章节的深度有所降低,重视物理意义与几何概念的阐述及结论的剖析,而降低了对公式推演的要求,从而引导学生更注意扩大知识面,掌握理论、方法的本质内容,以努力培养自己分析问题、解决问题的能力。因而,使用本书作为教材时,应在更新教学观念、改变教育思想的前提下,努力运用现代教学手段与方法。只有这样,才能在有限的学时内,达到理想的教学效果。

本书由傅祥志、杨家军、吴丕兰同志编写。其中绪论、第一、四章及第十至十二章由傅祥志同志编写,第二、三、六、八章由杨家军同志编写,第五、七、九、十三章由吴丕兰同志编写,并由傅祥志同志担任主编。

本书在编写过程中,得到华中理工大学机械原理教研室的教师大力支持,也得到参加面向 21 世纪课程体系和教学内容改革项目——“工程制图与机械基础系列课程教学内容与课程体系改革”的本校及兄弟院校教师和领导的指导与帮助;在出版过程中,华中理工大学出版社的有关领导与编辑给予了巨大支持与帮助,并付出了辛勤劳动。对于上述同志的理解、支持、帮助及为此付出的劳动,在此表示衷心感谢。

本书虽然是在教学研究的基础上编写的,但随着面向 21 世纪教改课题的深入研究,必定有许多有待修改、补充、完善的地方,因而敬请本书读者不吝指出本书的错误和不足,提出意见和建议,以期在再版时补充和修改,使之成为一本真正适应 21 世纪培养机械工程技术人才需要的机械原理课程的教科书。

编者

1998 年 2 月

目 录

绪论	(1)
第一篇 机构组成原理及性能分析	(3)
第一章 机构组成原理及可动性分析	(3)
§ 1-1 机构的组成及运动简图	(3)
§ 1-2 机构可动的运动学条件	(6)
§ 1-3 机构可动的力学条件	(11)
§ 1-4 平面机构的组成原理及结构分析	(16)
习题	(19)
第二章 平面机构运动分析	(22)
§ 2-1 平面机构运动分析的几何法与解析法	(22)
§ 2-2 速度瞬心及其在机构运动分析中的应用	(27)
§ 2-3 齿轮系传动比的计算	(30)
习题	(41)
第三章 平面机构的力分析	(45)
§ 3-1 作用在机械上的力	(45)
§ 3-2 平面机构的动态静力分析	(46)
习题	(51)
第二篇 机构及其运动设计	(52)
第四章 连杆机构及其设计	(52)
§ 4-1 连杆机构的特点	(52)
§ 4-2 平面四杆机构的基本形式及其演变	(52)
§ 4-3 平面四杆机构的运动特性分析	(55)
§ 4-4 平面四杆机构运动设计的基本问题与方法	(59)
§ 4-5 刚体位移矩阵	(61)
§ 4-6 刚体导引机构的运动设计	(63)
§ 4-7 轨迹生成机构的运动设计	(65)
§ 4-8 函数生成机构的运动设计	(66)
§ 4-9 平面四杆机构运动设计的近似法	(69)
§ 4-10 平面连杆机构的优化设计	(72)
§ 4-11 平面四杆机构设计中的几个简单问题的几何法	(76)
§ 4-12 空间连杆机构简介	(78)
§ 4-13 球面四杆机构——万向联轴节	(82)
习题	(85)
第五章 凸轮机构及其设计	(90)
§ 5-1 概述	(90)
§ 5-2 从动件运动规律的设计	(95)

§ 5-3	盘形凸轮机构基本尺寸的设计	(101)
§ 5-4	平面凸轮轮廓曲线的设计	(104)
§ 5-5	空间凸轮机构简介	(109)
§ 5-6	凸轮机构的计算机辅助设计	(112)
§ 5-7	高速凸轮机构简介	(113)
习题		(114)
第六章	齿轮机构及其设计	(117)
§ 6-1	齿轮机构的类型和特点	(117)
§ 6-2	齿轮齿廓的设计	(118)
§ 6-3	渐开线直齿圆柱齿轮机构的设计	(120)
§ 6-4	斜齿圆柱齿轮机构	(140)
§ 6-5	蜗轮蜗杆机构	(147)
§ 6-6	直齿圆锥齿轮机构	(149)
§ 6-7	其他齿轮机构简介	(153)
§ 6-8	行星轮系的设计与效率估算	(156)
§ 6-9	新型齿轮系简介	(159)
习题		(162)
第七章	间歇运动机构	(165)
§ 7-1	槽轮机构	(165)
§ 7-2	棘轮机构	(169)
§ 7-3	不完全齿轮机构	(171)
§ 7-4	凸轮式间歇运动机构	(173)
习题		(174)
第八章	组合机构	(175)
§ 8-1	齿轮-凸轮机构	(175)
§ 8-2	齿轮-连杆机构	(176)
§ 8-3	凸轮-连杆机构	(176)
§ 8-4	组合机构的应用	(177)
习题		(178)
第九章	螺旋机构及带与链传动机构	(179)
§ 9-1	螺旋机构	(179)
§ 9-2	带传动机构	(185)
§ 9-3	链传动机构	(185)
习题		(186)
第三篇	机构及其系统方案设计	(187)
第十章	机械设计概述	(187)
§ 10-1	机械设计过程概述	(187)
§ 10-2	机构及其系统运动方案设计概述	(188)
第十一章	执行机构运动规律及运动协调设计	(191)
§ 11-1	执行机构运动规律设计	(191)

§ 11-2 执行机构运动协调设计	(195)
§ 11-3 机械运动循环图设计	(198)
习题	(201)
第十二章 机构及其系统运动方案设计	(202)
§ 12-1 机构选型	(202)
§ 12-2 创新设计的原理与方法	(203)
§ 12-3 机构构型的创新设计方法	(205)
§ 12-4 基于功能分析的机构系统运动方案设计方法	(217)
§ 12-5 运动方案设计实例	(222)
§ 12-6 运动方案的评价	(225)
习题	(228)
第十三章 机构及其系统动力学设计	(230)
§ 13-1 机构及其系统的质量平衡与功率平衡	(230)
§ 13-2 基于质量平衡的动力学设计	(231)
§ 13-3 机构及其系统动力学方程	(238)
§ 13-4 单自由度机构或机构系统动力学模型及运动方程式	(240)
§ 13-5 基于功率平衡的机构系统动力学设计	(247)
习题	(253)
参考文献	(258)

绪 论

提示 要求明确本课程研究的对象、性质及在培养机械工程技术人才中的作用。

一、机械原理课程的研究对象

机械原理课程研究的对象是机械,而机械是机构与机器的总称。

自 18 世纪工业革命以来,机器这个概念逐步得到明确、完善和发展。现代机器的定义是:机器是执行机械运动的装置,它用来变换或传递能量、物料与信息。在这个定义中,物料是指被加工的对象、被搬运的重物。按照机器的这个定义,可将机器分为动力机器、工作机器和信息机器。

动力机器是能量变换装置,即可将某种形式的能量变换成机械能,或者把机械能变换成其他形式的能量。例如,内燃机、压气机、涡轮机、电动机、发电机等都属于动力机器。

工作机器的用途是完成有用的机械功或搬运物品。例如,金属切削加工机床、轧钢机、织布机、缝纫机、包装机、汽车、机车、飞机、起重机、输送机等都属于工作机器。

信息机器是用来获得和变换信息的。如果信息是以数字形式表示的,则该信息机器就称为计数机或机械式计算机。打字机、绘图仪也属于信息机器。而电子计算机,由于它并不依靠机械运动来获取和变换信息,因而,按照上述机器的定义,它不能算是机器。

应当强调指出的是,机器与其他装置(或设备)的主要区别是:机器一定要作机械运动,并通过运动来实现能量、物料和信息的变换。

机器所作的机械运动,是由机器中的机构来完成的。虽然各种不同的机器,具有不同的构造与用途,但就其组成而言,主要是由一些机构所组成。如图 0-1 所示的内燃机中,壳体 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 组成一种连杆机构;壳体 1、凸轮 5' 和气阀杆 6 组成一种凸轮机构;壳体

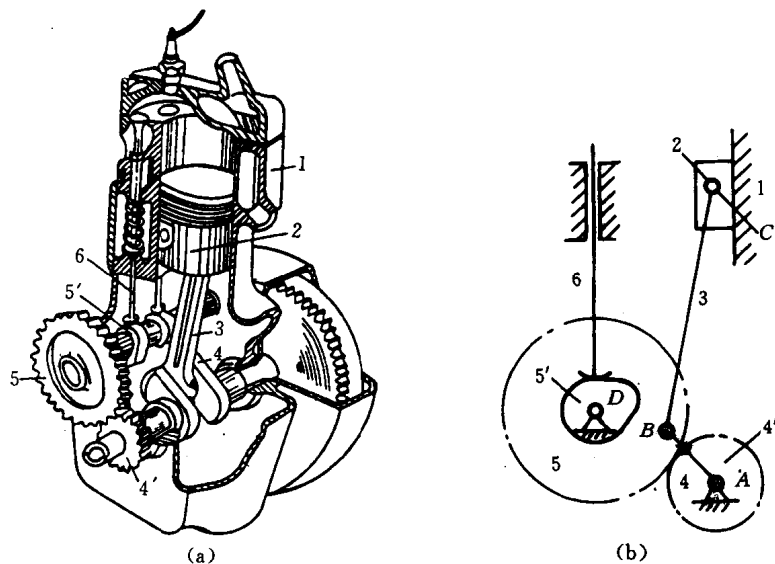


图 0-1 内燃机

1、齿轮 4' 和齿轮 5 组成一种齿轮机构。此外,在有的机器中还用到间歇运动机构、带传动和链传动机构、螺旋机构、组合机构等。

二、机械原理课程的性质、内容和作用

机械原理是研究机械性能分析与设计的基本理论和方法的专业基础课程之一。其主要内容可分为两个部分:一部分是研究机械的组成原理及运动学与动力学特性的分析方法;另一部分是研究机械运动学、动力学设计及机构系统方案设计的理论与方法。

设计和制造一种工作性能优良的新机器,需要掌握机器的工作原理、设计原理与方法以及制造工艺原理,需要综合应用多门学科的知识,而机械原理是其中的一门重要基础课程,它在培养机械设计与制造领域内的高级工程技术人才中,具有增强对机械技术工作的适应性,培养创新设计的意识与能力的重要作用。

第一篇 机构组成原理及性能分析

第一章 机构组成原理及可动性分析

提示 本章重点要求掌握机构的组成原理和机构运动简图的绘制方法及机构可动的运动学、力学条件,并在此基础上,对平面机构的可动性(包括运动的可能性及唯一性)进行分析。

§ 1-1 机构的组成及运动简图

一、机构的组成

机器的主体部分是由一个或若干个机构所组成的,而机构的组成要素是构件和运动副。

(一) 构件

机构中的运动单元体称为构件。图 0-1 中的连杆机构就是由壳体 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 等四个构件组成的。而一个构件可能是一个零件,也可能是由几个零件固联而成的,因而在机构运动过程中,组成一个构件的各零件之间没有相对运动。构件与零件的本质区别在于:构件是运动单元体,而零件是制造单元体。

根据构件在机构中所起的作用不同,可将构件分成以下几种:机构中固接于定参考系的构件称为机架(或固定构件);机构中可相对于机架运动的构件称为活动构件,其中运动规律已知的活动构件称为原动件;作用有驱动力或驱动力矩的活动构件称为主动件;机构中除主动件以外并随着主动件的运动而运动的其余活动构件称为从动件,其中输出运动或动力的从动件称为输出件。

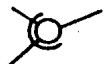
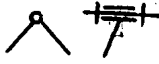
(二) 运动副

运动副是机构中两构件直接接触的可动联接。机构中的构件都是用运动副彼此相联接的,因而机构构件间的运动与力都是通过运动副来传递的。

两个构件在联接前有六个独立的相对运动,即有六个相对运动自由度。若将两构件用一运动副相联,则两构件间的相对运动便受到一定的约束。根据运动副对被联接的两构件相对运动约束数的不同,可将运动副分为 I 至 V 级,即将引入一个约束的运动副称为 I 级副,引入两个约束的运动副称为 II 级副,依次类推,还有 III 级副、IV 级副和 V 级副。常用的运动副列于表 1-1 中。

运动副中构件间的接触形式有点、线、面三种(常称此点、线、面为运动副元素)。面接触的运动副称之为低副,点或线接触的运动副称之为高副。根据组成运动副两构件间作相对平面运动或空间运动,可将运动副分为平面运动副与空间运动副。根据组成平面低副的两构件之间的相对运动性质,又可将其分为转动副(如图 1-1 所示)和移动副(如图 1-2 所示);常见的平面高副有齿轮齿廓接触组成的齿轮副(如图 1-3(a)所示),凸轮从动件端部与凸轮轮廓之间的点接触所组成的运动副(如图 1-3(b)所示)等。

表 1-1 常用的运动副及其符号

级别	自由度数	约束条件数	运动副名称及代号	图 形	规定符号
II	3	3	球面副 (S)		
IV	2	4	圆柱副 (C)		
	2	4	球销副 (S')		
V	1	5	移动副 (P)		
	1	5	转动副 (R)		
	1	5	螺旋副 (E)		

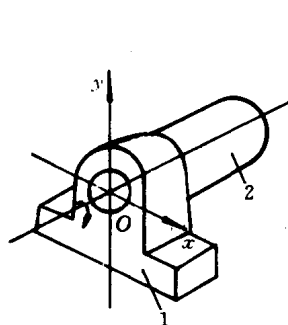


图 1-1 转动副

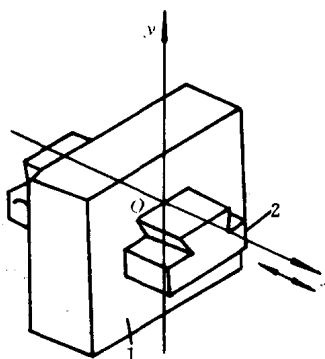
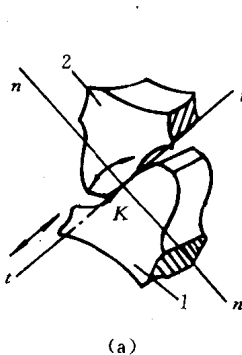
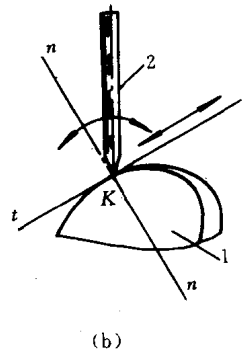


图 1-2 移动副



(a)



(b)

图 1-3 高副

(三) 运动链

用运动副联接而成的相对可动的构件系统称为运动链(如图 1-4 所示)。如果运动链中的每个构件上至少有两个或两个以上运动副元素,且各构件用运动副联接起来组成闭环构件系统,则称之为闭式运动链,或简称为闭式链。图 1-4(b)、(c)均为闭式链,其中图(b)为单闭环链,图(c)为双闭环链,还有多闭环链的情况。如果运动链中的各构件没有构成首尾封闭的构件系统,则称之为开式运动链(如图 1-4(a)所示),或简称为开式链。

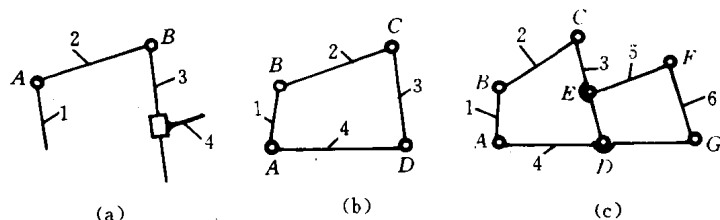


图 1-4 运动链

(四) 机构

机构是用来传递运动和力且有一个构件为机架的用运动副联接而成的构件系统。由此定义可知,除强调机构是用来传递运动和力之外,它与运动链的区别就在于机构一定要有一构件为机架,机构中的其余构件均相对于机架而运动。一般情况下,机构安装在地面上,那么,机架相对于地面是不动的;如果机构是安装在相对地面运动的物体(如车、船、飞行器壳体)上,则机架相对于该运动物体是固定不动的,而相对于地面则是运动的。

二、机构运动简图

机构中各构件的运动是由机构原动件的运动规律及各运动副的类型和机构的运动学尺寸来决定的,与构件的外形、断面形状和尺寸以及组成构件的零件数目和固联方式无关。故在进行机构运动和动力分析以及机构设计时,需采用机构运动简图。机构运动简图是用规定的运动副符号及代表构件的线条来表示机构运动特性,并根据运动学尺寸按比例画成的简单图形。它是机构分析和设计的几何模型。

如果仅仅以构件和运动副组成的符号表示机构,其图形不按精确的比例绘制,目的是为了进行初步的结构组成分析,弄清动作原理等等,则称这种简图为机构示意图或机构简图。

机构运动简图常用的符号如表 1-2 所示。用这些符号绘制的连杆机构、齿轮机构、凸轮机构如图 1-5 所示。有关机构运动简图的绘制,在实验指导书中有详细说明。

表 1-2 机构运动简图常用符号

名称	符 号	名称	符 号	名称	符 号
线型规定	—— b , 表示一般机件轮廓	平面高副	曲面高副	圆锥齿轮啮合	
	—— $2b$, 表示轴、杆类		凸轮高副		
两组成运动构件	—— $b/3$, 表示运动方向、剖面线等	两构件组成球面副	平面低副	蜗轮蜗杆啮合	
	—— $b/3$, 表示轴线、齿轮、链条等		平面高副		

续表

名称	符 号		名称	符 号		名称	符 号	
两组成转动副	运动平面平行于图纸	运动平面垂直于图纸	两构件组成螺旋副			带圆柱滚子的摩擦传动		
与机架组成移动副			与机架组成摆动副	对心式	偏心式	棘轮传动		
与机架组成转动副	运动平面平行于图纸	运动平面垂直于图纸	外啮合圆柱齿轮			带传动		
一个运动副并接一个构件上有三个			齿轮齿条啮合			装在轴上的飞轮		

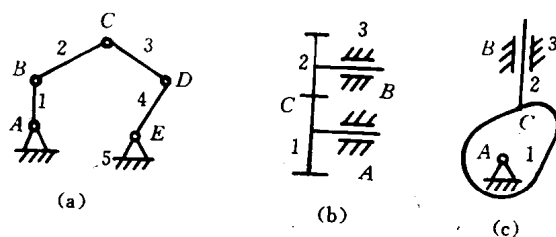


图 1-5 常用机构运动简图

§ 1-2 机构可动的运动学条件

由机构的定义可知,机构是用来传递运动和力的构件系统,故有必要从运动学和力学两个方面来讨论机构的可动条件。

一、机构自由度的一般公式

机构自由度是指机构中各活动构件相对于机架的可能独立运动的数目。若设机构的活动构件数为 n , 并含有 I、II、III、IV、V 级副的个数分别为 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 、 p_5 , 则根据运动副的级与运动副的约束之间的关系, 可推得机构自由度的计算公式为

$$F = 6n - (5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1)$$

或写作

$$F = 6n - \sum_{k=1}^5 k p_k \quad (1-1)$$

二、公共约束与平面机构自由度

在有些机构中, 由于运动副的特性及其特殊配置, 而使机构中的所有活动构件共同失去了某些自由度, 即给机构中的所有运动构件施加了某些共同的约束, 称之为公共约束。

如图 1-6 所示的平面四杆机构中, $n=3$, $p_5=4$, 若按式 (1-1) 计算, 则其自由度 $F=6 \times 3 - 5 \times 4 = -2$ 。而实际上该机构的自由度应为 1。其错误原因是在采用式 (1-1) 时, 没有考虑一般平面机构各构件均有 3 个公共约束, 即各活动构件均失去了绕机构运动平面中的二垂直坐标轴的转动及垂直于机构运动平面方向的移动。故作平面运动的自由构件只有 3 个自由度, 且平面机构中不存在 I、II、III 级运动副, 因此, 一般平面机构的自由度计算公式为

$$F = (6 - 3)n - (5 - 3)p_5 - (4 - 3)p_4 = 3n - 2p_5 - p_4$$

又如图 1-7 所示的全为移动副联接而成的平面连杆机构, 除了具有一般平面机构的 3 个公共约束外, 还有一个公共约束, 这就是所有活动构件均不能绕垂直于机构运动平面坐标轴的转动, 即每个活动构件均具有 4 个相同的约束, 其自由度计算公式应为

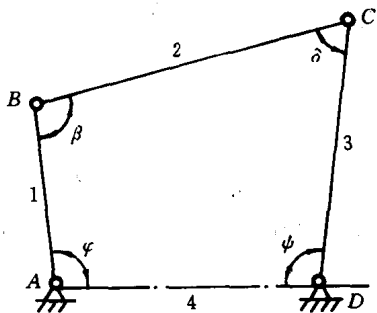


图 1-6 平面四杆机构的自由度

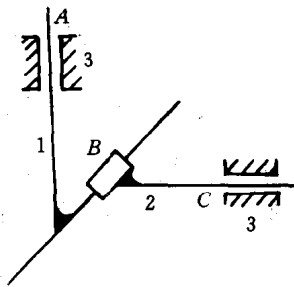


图 1-7 全为移动副的平面机构

$$F = (6 - 4)n - (5 - 4)p_5 = 2n - p_5$$

用上式计算图 1-7 所示机构的自由度, 可得 $F=2 \times 2 - 3=1$ 。这一结果与机构的实际自由度相同。

一般, 若机构具有 m 个公共约束, 则其自由度计算公式应为

$$F = (6 - m)n - \sum_{k=m+1}^5 (k - m)p_k$$

三、机构可动的运动学条件

如图 1-8(a) 所示连杆机构, 现已求出其自由度 $F=1$, 它表示在以机架为参考系的情况下, 只能有一个独立运动。如图中 φ_1 一定时, 则所有活动构件 (构件 1、2、3) 相对于机架的位置就确定了。而 φ_1 之值取决于构件 1 相对于机架的转动, 因而, 对机构只要输入一个运动 (即构件 1 相对于机架的转动), 则整个机构各活动构件的运动就是确定的。类似不难求出图 1-8(b) 所示连杆机构的自由度 $F=2$, 即只要图中 φ_1 和 φ_4 一定 (即输入的构件 1 和 4 的两个运动已确定) 时, 则所有活动构件相对于机架的位置就确定了。由此可知, 输入的独立运动数目等于机构自由度数时, 机构的运动状态就是确定的。

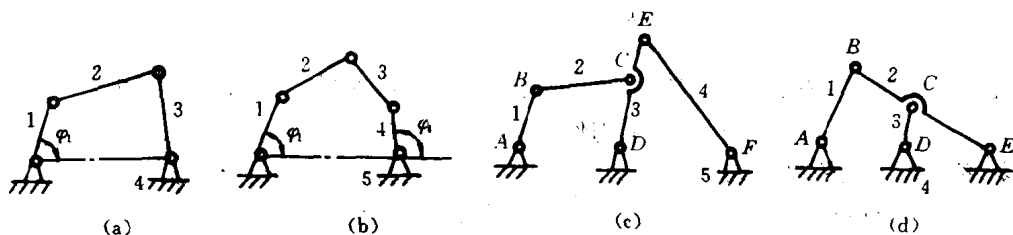


图 1-8 机构自由度的物理意义

应当指出的是, 若某一构件系统相对机架没有独立运动, 则该系统便成为一结构系统。如图 1-8(c) 所示, 按式 (1-1) 计算可知 $F=0$; 而图 1-8(d) 所示的构件系统, $F=-1$, 即 (c)、(d) 所示的系统实质上是静定 ($F=0$) 或超静定 ($F<0$) 的桁架结构。

由上所述不难得出结论: ①机构可能运动的条件是: 机构自由度数 $F \geq 1$; ②机构具有确定运动的条件是: 输入的独立运动数目等于机构自由度数 F 。这两条结论可称之为机构可动的运动学条件。

还应当指出的是, 平面机构的原动件一般只有一个独立运动, 故在此情况下, 为了使平面机构具有确定的运动, 其原动件数应等于机构的自由度数。

四、计算机构自由度时应注意的问题

机构自由度的计算公式很简单, 但有局限性, 因为它没有考虑运动副的特殊配置所产生的约束相关性。除前已阐明的公共约束之外, 计算机构自由度时, 常遇到以下问题, 应予以特别注意。

(一) 虚约束

机构中的约束往往有些是重复的。这些重复的约束对构件间的相对运动不起独立的限制作用, 称之为虚约束或消极约束。在计算机构自由度时应把它们全部除去。如图 1-9 所示的机车车辆联动机构, 按式 (1-1) 计算, 其自由度 $F=3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$ 。但实际上, 采用此种机构传动的机车车轮在机车运行过程中, 确在飞快旋转。究其原因, 就是因为此机构中存在着对运动不起约束作用的虚约束部分, 即构件 3 和转动副 E 、 F 构成的虚约束。如若把它们除去, 该机构的自由度为: $F=3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$ 。这样, 就与实际符合了。由此可见, 如何判断机构是否存在虚约束是十分重要的。常见的虚约束发生在以下一些场合:

(1) 机构中联结构件和被联结构件上的联接点的轨迹重合, 如图 1-9 所示的车轮联动机构中的 E 点。用拆副法把 E 处的转动副拆开来可以看到, 因为 $AB \parallel EF \parallel CD$, 故当杆 AB 绕点 A 作圆周运动时, 杆 BC 作平动, 即杆 BC 上各点均作半径为 $\overline{AB}$ 的圆周运动, 其上的点 E_2

也不例外,即点 E_2 作以 F 为圆心,半径为 $\overline{AB}$ ($\overline{EF} = \overline{AB}$) 的圆周运动;而构件 3 上的点 E_3 的轨迹显然也是以点 F 为圆心, $\overline{AB}$ 长为半径的圆,即两者轨迹重合,因而增加了构件 3 及转动副 E 、 F 以后,并不影响机构的自由度。故在计算机构自由度时,应将构件 3 及转动副 E 、 F 除去。

(2) 两构件组成若干个导路中心线互相平行或重叠的移动副,如图 1-10 所示的 G 处或 H 处。

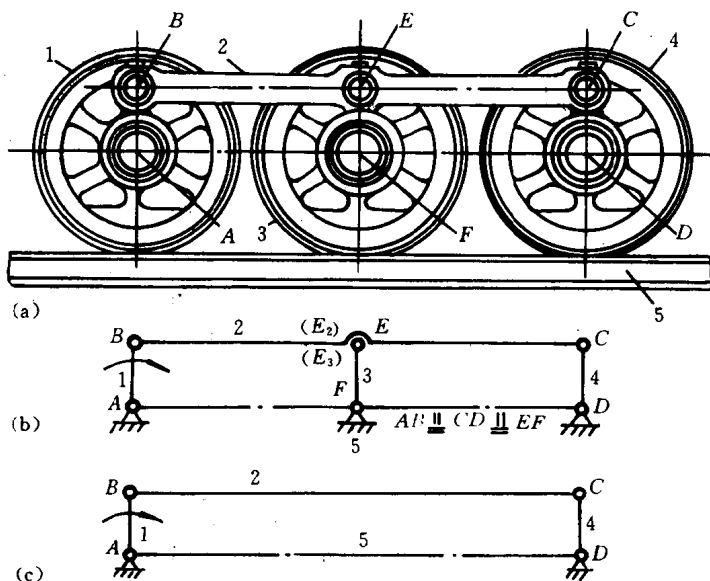


图 1-9 机车车轮联动机构

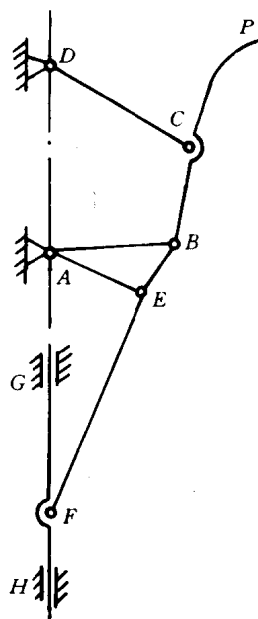


图 1-10 虚约束之一

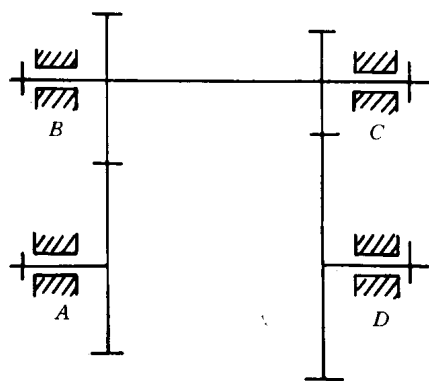


图 1-11 虚约束之二

(3) 两构件组成若干个轴线互相重合的转动副,如图 1-11 所示的 B 处或 C 处。

(4) 在机构整个运动过程中,如果其中某两构件上两点之间的距离始终不变,则联接此两点的两个转动副和一个构件形成的约束也是虚约束。如图 1-12 所示,若拆去转动副 E 、 F 和构件 4,则 EF 之间的距离在机构运动过程中仍保持不变,故转动副 E 、 F 及构件 4 对机构运动不起约束作用,所以也是虚约束。