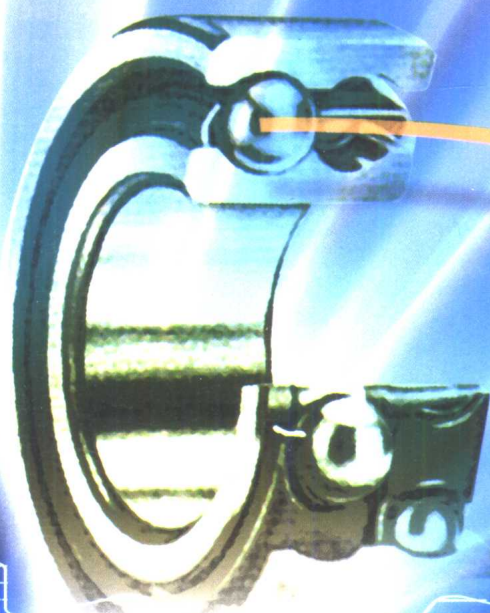


高职高专规划教材

机械设计基础

陕西工业职业技术学院 张久成 主编



机械工业出版社
China Machine Press

本书主要介绍常用机构的工作原理、运动特性、设计方法、机器动力学和机械系统总体方案设计的基本知识；通用机械零件的工作原理、结构特点、选用及设计计算方法。全书除绪论外共二十章，每章后均附有适量习题。

本书从培养学生的初步机械设计能力出发，在内容取舍上，既保证基本知识内容，又注重知识的实用性，使教材内容有利于提高学生分析问题和解决问题的能力；在内容的编排上，力图便于与先修课程的衔接和组织教学。全书力求给学生一个比较完整的机械设计基本知识的体系和思路。

本书可作为高等职业技术学院机械、机电类专业“机械设计基础”课程教材，也可作为高等专科学校、成人高校教学用书及有关工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/张久成主编. —北京：机械工业出版社，2001.4

高职高专规划教材

ISBN 7-111-08516-7

I. 机… II. 张… III. 机械设计-高等学校：技术学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 20763 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：赵爱宁 版式设计：霍永明 责任校对：姚培新

封面设计：姚毅 责任印制：郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·18.5 印张·459 千字

0 001—5 000 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

本书是根据高等职业技术学院机械设计基础课程在机械、机电类专业知识结构总框架中所处的地位及教学基本要求,并结合机械、机电类专业的发展需求编写的。

本书从培养学生的初步设计能力出发,在内容的取舍上,遵照少而精的原则,既保证基本知识内容,又注重知识的实用性,使教材内容有利于提高学生分析问题和解决问题的能力;在内容的编排上,力图便于与先修课程的衔接和组织教学。

本书从机械的总体设计出发,专设机构系统总体方案设计和传动系统方案设计两章,旨在强化课程的整体性和系统性。全书力求能给学生一个比较完整的机械设计基础知识的体系和思路。

鉴于各院校机械、机电类专业本课程的教学时数不尽相同,且各专业对各章节内容的要求也不相同,为使本教材有较大的适应性,各章节内容基本上都是按多学时要求编写的。选用本书作为教材时,可根据具体情况对各章节内容做适当取舍或酌加介绍。此外,本书各章节的编排次序不代表讲课的必然顺序,教师可根据具体情况自行调整。

本书由教育部高等学校工科机械基础课程教学指导委员会委员、西北工业大学博士生导师陈国定教授担任主审。承蒙陈教授对本书稿认真细致地审阅,提出很多宝贵的修改意见,对本书编写质量的提高给予很大帮助。编者在此谨致深切的谢意。

参加本书编写的有:包头职业技术学院霍振生(第三章、第五章、第十七章、第二十章)、九江职业技术学院王晓燕(第二章、第十二章、第十六章、第十九章)、湖南工业职业技术学院任成高(第一章、第六章、第十三章)、戴晓厚(第八章、第十四章、第十五章)、陕西工业职业技术学院何克祥(第十一章、第十八章)、张久成(绪论、第四章、第七章、第九章、第十章)。全书由张久成担任主编、戴晓厚担任副主编。本书部分插图由陕西工业职业技术学院张户芳修描。

本书虽几易其稿,但由于编者水平所限,误漏和不妥之处在所难免,恳望广大同仁和读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
第一节 本门课程的研究对象	1
第二节 本门课程的内容、地位及 学习目的	2
第三节 本门课程的学习方法	3
第四节 机器设计应满足的基本 要求及一般程序	3
习题	5
第一章 平面机构及自由度	6
第一节 平面机构的组成	6
第二节 平面机构运动简图	7
第三节 运动链成为机构的条件	10
习题	13
第二章 平面连杆机构	15
第一节 平面连杆机构的类型	15
第二节 平面连杆机构的工作特性	19
第三节 平面连杆机构的设计	22
习题	28
第三章 凸轮机构	29
第一节 凸轮机构的组成、应用和 分类	29
第二节 从动件常用运动规律	31
第三节 凸轮的轮廓线设计	34
第四节 凸轮机构设计中的几个问题	37
习题	40
第四章 齿轮机构	42
第一节 齿轮机构的特点和类型	42
第二节 齿廓啮合基本定律	43
第三节 渐开线齿廓	44
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮	48
第五节 渐开线标准直齿圆柱 齿轮的啮合传动	51
第六节 渐开线齿轮的加工	54
第七节 渐开线齿廓的根切与 避免根切的措施	56
第八节 渐开线变位齿轮机构	58

第九节 斜齿圆柱齿轮机构	63
第十节 蜗杆蜗轮机构	68
第十一节 锥齿轮机构	72
习题	75
第五章 轮系	77
第一节 轮系的类型	77
第二节 定轴轮系传动比的计算	78
第三节 周转轮系传动比的计算	80
第四节 混合轮系传动比的计算	82
第五节 其他类型的行星传动简介	83
习题	86
第六章 间歇运动机构	88
第一节 棘轮机构	88
第二节 槽轮机构	91
第三节 其他间歇机构	93
习题	95
第七章 其他常用机构	96
第一节 螺旋机构	96
第二节 挠性传动机构	103
习题	108
第八章 回转体的平衡和机器 的调速	109
第一节 回转体平衡的目的和分类	109
第二节 回转体平衡的计算方法	110
第三节 回转体平衡的检测与要求	113
第四节 机器速度波动调节的目的 和方法	114
第五节 机械运转的平均速度和不均匀 系数	115
第六节 飞轮设计的近似方法	116
习题	118
第九章 机械系统方案设计概述	119
第一节 机械系统方案设计的目的和 内容	119
第二节 机构的组合系统	119
第三节 机械系统方案设计的一般	

步骤	121	习题	198
第四章 机械系统方案设计应遵循的		第十四章 机械传动系统总论	200
基本要点	123	第一节 机械传动系统的功用	200
第五章 机械系统方案设计举例	124	第二节 常用机械传动的类型、基本特性	
习题	127	及选择	203
第十章 机械零件设计概论	128	第三节 机械传动的运动和动力计算	206
第一节 机械零件设计应满足的基本要求		第四节 机械传动方案设计举例	208
和设计的一般步骤	128	习题	209
第二节 机械零件的工作能力和设计		第十五章 联接	210
准则	128	第一节 键、花键和销联接	210
第三节 机械零件常用材料及其选用		第二节 螺纹联接及螺纹联接零件	214
原则	133	第三节 螺纹联接的预紧和防松	217
第四节 机械的润滑	135	第四节 螺栓组的结构设计	219
第五节 机械零件的工艺性及标准化	137	第五节 螺栓联接的强度计算	220
第六节 常用的几种现代机械设计		第六节 螺纹联接件的材料、性能等级及	
方法	138	许用应力	224
习题	138	第七节 提高螺栓联接强度的措施	227
第十一章 V 带传动	140	习题	229
第一节 V 带与 V 带轮	140	第十六章 轴	231
第二节 带传动的工作情况分析	142	第一节 轴的类型、要求及设计步骤	231
第三节 V 带的失效形式和计算准则	145	第二节 轴的材料	232
第四节 V 带传动的设计计算	147	第三节 轴的直径估算	233
第五节 V 带传动的张紧装置	152	第四节 轴的结构设计	234
第六节 同步带传动简介	153	第五节 按弯扭组合计算轴的强度	236
习题	154	第六节 轴的刚度	239
第十二章 链传动	157	第七节 轴的振动和临界转速	240
第一节 套筒滚子链和链轮	157	习题	240
第二节 链传动的传动比及运动特性	159	第十七章 滑动轴承	242
第三节 链传动设计计算	160	第一节 滑动轴承的结构形式	242
习题	165	第二节 轴承及轴承材料	244
第十三章 齿轮传动	166	第三节 非液体摩擦滑动轴承的计算	245
第一节 轮齿的失效形式和设计准则	166	第四节 滑动轴承的润滑	247
第二节 齿轮的材料及热处理	168	第五节 液体摩擦滑动轴承简介	250
第三节 齿轮传动的精度	170	习题	251
第四节 直齿圆柱齿轮传动的受力分析		第十八章 滚动轴承	252
和计算载荷	171	第一节 滚动轴承的结构、类型和	
第五节 直齿圆柱齿轮强度计算	172	特点	252
第六节 直齿圆柱齿轮传动设计	177	第二节 滚动轴承的代号	254
第七节 平行轴斜齿圆柱齿轮传动	180	第三节 滚动轴承的类型选择	256
第八节 直齿锥齿轮传动	185	第四节 滚动轴承的尺寸选择	257
第九节 蜗杆传动	189	第五节 滚动轴承的静载荷计算	263
第十节 齿轮的结构与润滑	194	第六节 滚动轴承的组合设计	264

第七节 滚动轴承的配合与装拆	267	第一节 弹簧的功用和类型	281
第八节 滚动轴承的润滑和密封	268	第二节 圆柱螺旋弹簧的制造、材料和 许用应力	282
习题	270	第三节 圆柱形螺旋拉伸和压缩弹簧 的设计	284
第十九章 联轴器和离合器	271	第四节 圆柱螺旋扭转弹簧简介	289
第一节 联轴器	271	习题	289
第二节 离合器	276	参考文献	290
习题	280		
第二十章 弹簧	281		

绪 论

第一节 本门课程的研究对象

机械设计基础是一门介绍机械设计基础知识和培养学生机械设计能力的课程，它是以组成机器的常用机构及通用零部件为研究对象的学科。

人类为了适应生产和生活的需要，创造出各种各样的机器，其目的是为了代替或减轻人的劳动，提高劳动生产率。随着科学技术的发展，机器的种类不断增多，性能不断改进，职能不断扩大，机器既能承担人所不能或不便承担的工作，又能比人工提高生产率和产品质量。机器的使用水平已成为一个国家科技水平和现代化程度的重要标志之一。

一、机器和机构

对于“机器”的感性认识，人们在日常生活和生产实践中早已形成。例如，洗衣机、缝纫机、内燃机、汽车、推土机、起重机、各类机床等都是机器。为了加深对机器等概念的理解，先来分析一个机器实例。

图 0-1 所示的内燃机主要由缸体 1、活塞 2、连杆 3、曲柄 4、齿轮 5 和 6、凸轮轴 7、进气门推杆 8、排气门推杆 9、进气门 10、排气门 11 等组成。当燃气推动活塞在气缸内作往复移动时，通过连杆使曲柄作连续转动，从而把燃料燃烧产生的热能转换为机械能。可燃混合气定时进入气缸、废气定时排出气缸，是通过曲轴上的齿轮 5 带动凸轮轴上的齿轮 6 使凸轮转动，控制气门启闭来实现的。

由上述实例及日常生活中常见的其他机器可以看出，尽管机器的种类繁多，构造和用途差别很大，但只要注意观察，就会发现机器都有着下列共同特征：

- 1) 它们都是人为的多种实物的组合体；
- 2) 组成机器的各实物间具有确定的相对运动；
- 3) 能够代替或减轻人的劳动，有效地完成机械功或转换机械能。

凡具备以上三个特征的实物组合就称为机器。

当仅对组成机器的各实物之间的相对运动关系作分析而不考虑其功用时，通常把这些具有确定相对运动实物的人为组合系统称为机构。进一步分析上述实例（图 0-1）可以看出，缸体与活塞、连杆、曲轴组成曲柄滑块机构，此机构将活塞的往复直线运动转换成曲轴的回转运动；缸体与齿轮 5 和 6 组成齿轮机构，此机构将主动齿轮的转动转换成从动齿轮的转动；缸体与凸轮轴和推杆组成凸轮机构，此机构将凸轮轴的转动转换成推杆的间歇直线运动。

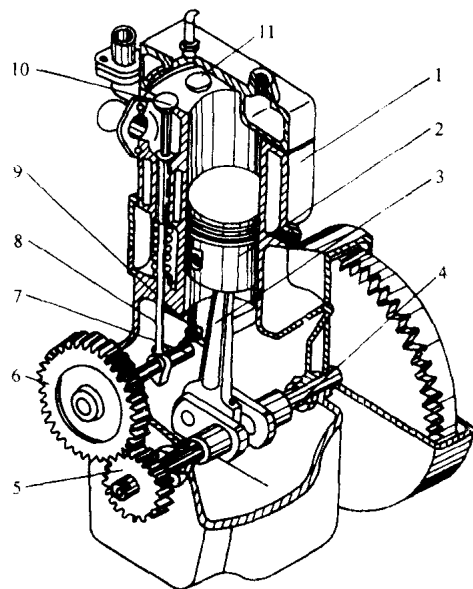


图 0-1 内燃机

如上所述,显然机构只具有机器的前两个特征。从结构和运动学的观点来看,机器与机构二者并无区别,其区别仅在于机构主要用来传递或变换运动,而机器却能完成有用的机械功或转换机械能。

人们常用“机械”一词来作为机器和机构的总的称谓。

二、零件、部件和构件

从制造加工的角度来看,机器是由若干零件组装而成的,而比较复杂的机器又是先由一些零件组装成部件,再由部件和另一些零件所组成。图0-2所示内燃机中的连杆,就是由单独加工的连杆体1、轴套2、连杆头3、螺栓4、螺母5、轴瓦6等零件装配而成的。可见,零件是机器的最小制造单元,是机器的基本组成要素。各类机器中都能用到的零件称为通用零件,在特定的机器中才能用到的零件称为专用零件;而部件则是机器的装配单元。

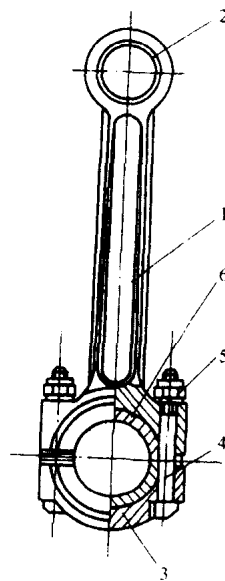


图 0-2 内燃机连杆

从机械实现预期运动和功能的角度来看,上述零件之间没有相对运动,构成一个独立运动的单元体,称为构件。构件可以是一个单独的零件,也可以由几个零件刚性地联接在一起组成。构件是不可分割的运动单元。

三、机器的组成

机器的种类很多,形式各异,但就其功能而言,一部完整的机器主要有以下四个组成部分,可图解为:

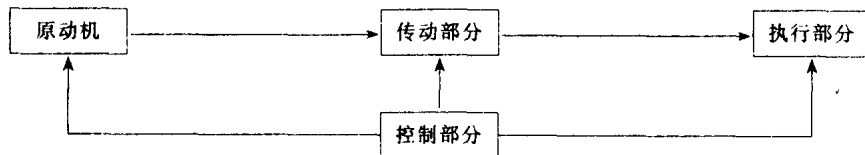


图 0-3 机器的组成

(1) 原动机部分 是机器动力的来源,常用的原动机有电动机和内燃机两大类,此外还有液压缸或气动缸等。

(2) 执行部分 处于整个机械传动路线的终端,是直接完成工作任务的部分。

(3) 传动部分 把原动机的运动和动力传递给执行部分,介于原动机和执行部分之间起桥梁的作用。

(4) 控制部分 控制机器的其他组成部分,使操作者能随时实现或终止机器的各种预定功能。现代机器的控制系统,一般既包含机械控制系统,又包含电子控制系统,其作用包括监测及信号拾取、调节、计算机控制等。

第二节 本门课程的内容、地位及学习目的

一、本门课程研究的内容

本门课程研究的主要内容可分为两大部分:

一是研究常用机构的组成原理、类型、运动特点、功能、设计方法及机器动力学方面的

基本知识，并简要介绍机械系统方案设计的有关知识。常用机构包括：平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇机构、螺旋机构、挠性传动机构等。

二是从承载能力出发，研究一般工作条件下，通用零件的工作原理、结构特点、选用及设计问题。通用零件包括传动零件、联接零件和轴系零部件等。

二、本门课程的地位

本门课程属于机械类和机电类专业的一门主干技术基础课。本门课程要综合运用从理论力学、材料力学、金属工艺学、公差配合、机械制图等课程所学到的知识，解决机械设计中的问题，较之以前的先修课程更接近工程实际；另一方面，本门课程又不同于机械制造设备、汽车等专业课程。它研究的是各种机械所具有的共性问题，是从基础课到专业课之间的联系环节，起着承上启下的作用，在机械类和机电类专业的课程体系中占有非常重要的位置。

三、学习本课程的目的

本课程是一门综合性、实践性很强的课程。学习本课程的目的有两个，一是获得必要的设计理论知识和设计方法，为今后学习机械类和机电类有关专业课程打好基础；二是通过本课程的学习和课程设计的实践，培养学生初步具备运用手册、标准选用及设计通用零件和进行简单机械传动装置设计的能力，为现有机器的合理使用、维护和今后可能从事的革新改造工作打好基础。

第三节 本课程的学习方法

一、学习知识的同时要注意能力的培养

学习知识的目的是为了了解决工程中的实际问题，这一点在本门课程中体现得更为明显，所以要把能力的培养始终放在重要的位置上。多练习、多实践，有助于提高自己的设计能力。

二、学习理论的同时要坚持联系实际

由于本课程比基础课更加贴近工程实际，只有在学习理论的同时，密切联系工程实际，才能加深对理论知识的理解，举一反三。

三、必须重视结构设计

结构设计是本课程的一个重要知识组成部分。结构设计是设计人员设计构思的具体实现，没有结构设计就不可能进行机器的生产。机器原理方案是否能够实现，取决于结构设计。所以，结构设计在整个机械设计过程中处于很重要的地位，也是培养机械设计能力的重要环节，因而必须予以足够的重视。

第四节 机器设计应满足的基本要求及一般程序

一部机器的质量基本取决于机器设计的质量。制造过程的本质在于实现设计时所规定的质量。因此，机器的设计阶段是决定机器好坏的关键。实际上，机器产品构成竞争力的大部分要素都是在产品的设计阶段确定的。

一、设计机器应满足的基本要求

设计机器时，不管机器的类型如何，都应考虑对机器的以下基本要求：

(1) 使用功能要求 使用功能要求是对机器的首要要求, 机器必须具有预定的功能要求。这主要靠机器的总体方案设计来保证。

(2) 经济性要求 机器的经济性设计时就要进行全面的综合考虑。主要体现为机器的成本低、效率高、耗能少、维修简便、管理费用低等。

(3) 操作使用要求 要使机器操作方便、安全, 使操作者及机器有比较理想的工作环境, 设计出的机器应符合劳动保护法规的要求。

(4) 可靠性要求 机器在规定的使用期限内和预定的环境条件下要能够正常工作, 其正常工作的概率越高, 机器的工作就越可靠。

二、机器设计的一般过程

机器的设计过程并非千篇一律, 因而不可能列出一个在任何情况下都必须遵守的程序。但根据长期的经验, 机器设计的一般过程大体分为以下几个阶段, 可图解为:

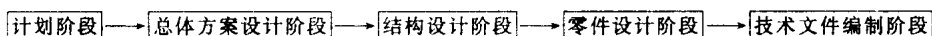


图 0-4 机器设计的一般过程

1. 计划阶段

机器的设计任务是根据生产和市场需求提出的。此时, 对所要设计的机器仅仅只是一个模糊的概念。任务提出后, 应认真地组织相关人员对所设计机器的需求情况做充分的调研和分析, 进一步明确机器应具备的功能和项目的经济价值、技术要求, 编制详细的设计任务书。任务书中应明确规定机器的用途、功能、工作环境条件、特殊要求、构造要求、基本使用要求及完成设计任务的预期时限等。

2. 总体方案设计阶段

机器总体方案设计的内容应包括机械系统总体方案设计、控制系统方案设计和辅助系统设计几个部分。

机械系统总体方案设计, 就是根据机器的功能要求, 选择其工作原理和可能的传动方案, 并用规定的简单符号, 明确地表示出组成机器的各个机构和主要零件, 设计出机器的“骨架”——机构运动简图。

3. 结构设计阶段

这一阶段的目标是产生总装配草图和部件装配草图。通过这一阶段, 要把机构运动简图中的符号变成具体的零件和部件, 确定各零、部件的外形、结构、材料和基本尺寸, 并考虑各零部件的相对位置与联接方法等一系列问题, 从而把机构运动简图变为装配草图。

4. 零件设计阶段

装配草图只是初步确定了机器的总体尺寸和各零部件间的相对位置、外形和基本尺寸、配合关系等, 因而装配草图并不能作为加工生产机器的依据。为了制造机器, 必须根据装配草图设计出各个零件的工作图, 这一阶段称为零件设计阶段。

在零件设计阶段, 需参照零部件可能的失效情况、工作特性等, 以强度、刚度、寿命等准则为依据, 通过计算或类比, 决定零件的尺寸, 并对其进行结构设计, 确定其结构要素(圆角、倒角)及加工要求(尺寸公差、表面粗糙度等), 设计出各个零件的工作图。

最后再按已定型的零件工作图上的结构尺寸, 重新绘制出部件装配图和总装配图。

通过上述几个阶段的设计, 有了机构运动简图、总装配图和零件工作图, 就从机器的原理、结构和制造几个方面为一部机器的生产提供了必需的条件。

5. 技术文件编制阶段

技术文件包括设计计算说明书、机器使用说明书、标准件明细表等。设计说明书应包括方案设计、选择及技术设计的全部结论性内容。使用说明书应向用户介绍机器的性能参数范围、使用操作方法、日常保养及简单的维修方法等。

习 题

0-1 机器和机构的主要区别是什么？试对下述机器分别举出两例：1) 能减轻或代替人的劳动的机器；2) 能有效地完成机械功的机器；3) 能变换机械能的机器。

0-2 何谓通用零件？何谓专用零件？何谓构件？各举两例。

0-3 指出下列机器的原动机、传动部分、执行部分和控制部分：1) 汽车；2) 自行车；3) 缝纫机；4) 牛头刨床。

第一章 平面机构及自由度

机构是具有确定相对运动的构件组合。显然，不能产生相对运动或无规则乱动的构件组合都不能成为机构。如果机构中所有运动部分均在同一平面或相互平行的平面内运动，则称为平面机构，否则称为空间机构。目前，工程上常见的机构大多属于平面机构，因此，本章仅限于讨论平面机构的有关问题。

第一节 平面机构的组成

一、运动副及分类

机构是由许多构件组成的。其中每个构件都以一定的方式与其他构件相互联接，但这种联接不是固定联接，而是能产生一定相对运动的联接。这种使两个构件直接接触并能产生一定相对运动的联接称为运动副。例如，轴与轴承的联接、活塞与气缸的联接以及传动齿轮两个轮齿间的联接等，都构成了运动副。

平面机构中，构成运动副的各构件的运动均为平面运动，故称为平面运动副。由于这些运动副接触形式各异，所以平面运动副又可分为低副和高副。

（一）低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。平面低副按两构件间相对运动形式的不同，还可分为转动副和移动副。

（1）转动副 两构件间只能产生相对转动的运动副称为转动副，也称铰链，如图 1-1 所示。

（2）移动副 两构件间只能产生相对移动的运动副称为移动副，如图 1-2 所示。

（二）高副

两构件通过点或线接触所构成的运动副称为高副，如图 1-3a 中的车轮 1 与钢轨 2、图 1-3b 中凸轮 1 与推杆 2、图 1-3c 中的轮齿 1 与轮齿 2，它们分别在接触处 A 构成高副。

除了上述平面运动副之外，机械中常见的还有如图 1-4a 所示的球面副和图 1-4b 所示的螺旋副。这些运动副能使两构件作空间相对运动，故属空间运动副。

二、运动链

两个以上构件以运动副联接而成的系统，称为运动链。运动链分为闭链与开链两种类型。若组成运动链的各构件构成首末封闭的系统，则称为封闭式运动链，简称闭链，如图 1-5a、b 所示；若组成运动链的各构件未构成首末封闭的系统，则称开式运动链，简称开链，如图 1-5c 所示。

传统的机械中以闭链为多，随着生产线中机械手和机器人应用的日益广泛，机械中的开链应用也逐渐增多。

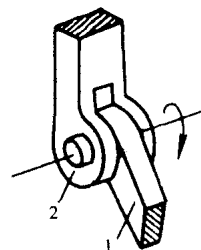


图 1-1 转动副

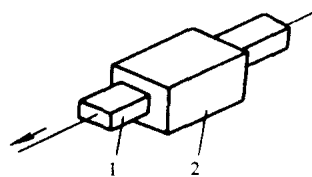


图 1-2 移动副

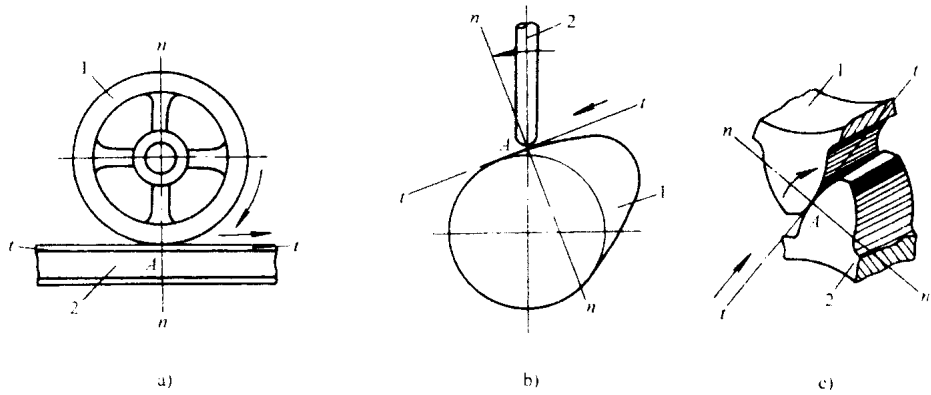


图 1-3 平面高副

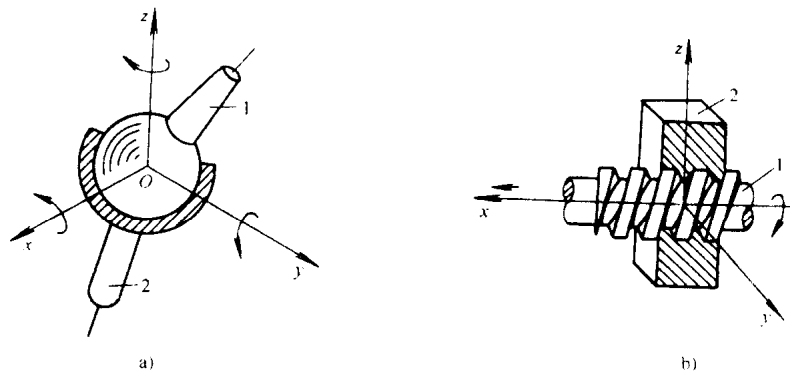


图 1-4 球面副与螺旋副

三、机构

在运动链中，将某一构件加以固定，而让另一个或几个构件按照给定的运动规律相对于该固定构件运动，若运动链中其余各构件都具有确定的相对运动，则这种运动链便成为机构。

机构中固定不动的构件称为机架，按照给定的运动规律独立运动的构件称为原动件或主动件，而其余活动构件称为从动件。

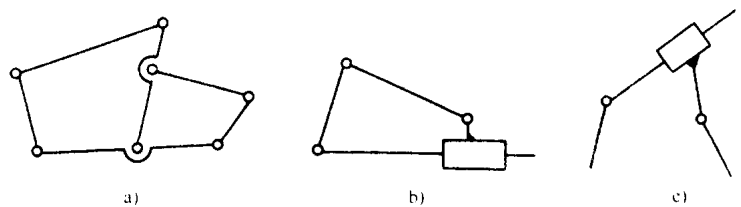


图 1-5 运动链

第二节 平面机构运动简图

一、平面机构的表示方法

分析已有的机构或设计新机构时，为了使问题简化，在研究机构的运动时，有必要撇开那些与运动无关的构件外形和运动副的具体结构，仅用简单的线条和规定的运动副的符号来表示构件和运动副，并按比例定出各运动副的相对位置。这种说明机构各构件间相对运动关系的简明图形，称为机构运动简图。它完全能够表达出原机械所具有的运动特性和规律。

对于只为了表明机械的结构特性和运动情况，而不严格按照比例绘制的简图，通常称为机构示意图。

在平面机构运动简图中，运动副的表示方法如下：

两构件组成转动副的表示方法如图 1-6a、b、c 所示。圆圈用来表示转动副，其圆心代表相对转动轴线，带斜线的为机架。

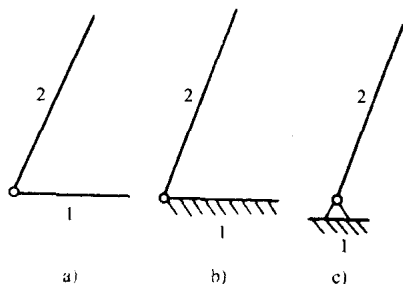


图 1-6 转动副的表示方法

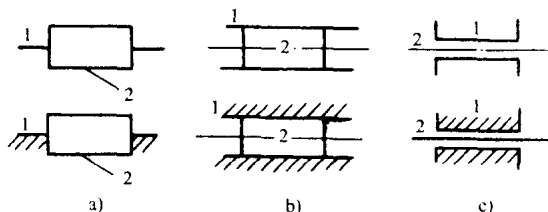


图 1-7 移动副的表示方法

两构件组成移动副的表示方法如图 1-7a、b、c 所示。移动副的导路必须与相对移动方向一致。

两构件组成高副的表示方法如图 1-8a、b 所示，需绘制出其接触处的轮廓线形状或按标准符号绘制。图 1-8a 为凸轮副，图 1-8b 为齿轮副。

构件的表示方法如图 1-9 所示。图 1-9a 表示参与组成两个转动副的构件。图 1-9b 表示参与组成一个转动副和一个移动副的构件。图 1-9c、d 表示参与组成三个转动副的构件，它一般用三角形表示。为了表明三角形是一个单一的构件，常在三角形内加剖面线或在三个内角上涂以焊缝标记，如图 1-9c 所示。如果三个转动副中心在一条直线上，则可用图 1-9d 表示。

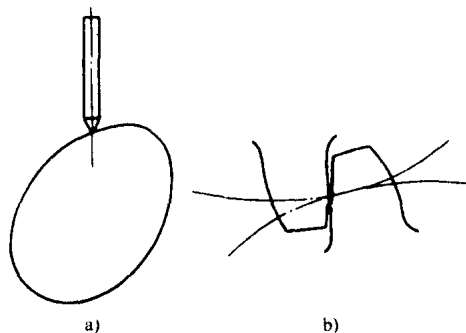


图 1-8 高副的表示方法

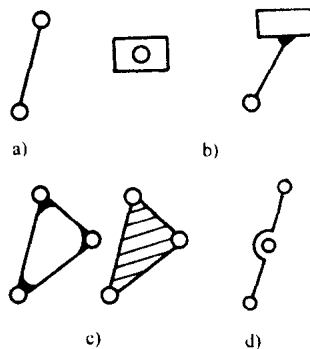


图 1-9 构件的表示方法

其他常用零部件的表示方法可参看 GB4460--84 “机构运动简图符号”。

二、平面机构运动简图的绘制

绘制平面机构运动简图的步骤如下：

- 1) 分析机构的运动，找出机架、原动件、执行件和传动件。
- 2) 沿着运动传递路线，逐一分析各构件间相对运动的性质，确定各运动副的类型和数目。
- 3) 选择视图平面，根据将图形表达清楚的原则，一般选择与各构件运动平面相互平行的平面作为绘制机构运动简图的视图平面。

4) 选择合适的比例尺 u_l (它是机构中任一实际尺寸与代表该尺寸的图形线段之比), 按比例定出各运动副的相对位置, 并用构件和运动副的规定符号绘制出机构运动简图。从原动件开始, 按传动顺序标出各构件的编号和运动副的代号, 在原动件上标出箭头以表示其运动方向, 将图中机架画上斜线。

下面举例具体说明机构运动简图的绘制方法。

例 1-1 试绘制图 1-10a 所示颚式破碎机主体机构的运动简图。

解 1) 颚式破碎机主体机构由机架 1、偏心轴 2 (原动件)、动颚 3 (执行件) 和肋板 4 共四个构件组成。当偏心轴绕轴线 A 转动时, 驱使输出构件动颚 3 作平面运动, 从而将矿石轧碎。

2) 偏心轴 2 与机架 1 组成转动副 A, 偏心轴与动颚 3 组成转动副 B, 肋板 4 与动颚 3 组成转动副 C, 肋板 4 与机架 1 组成转动副 D。整体机构共有四个转动副。

3) 图 1-10a 已清楚地表达出各构件间的运动关系, 所以选择此平面作为视图平面。

4) 选定转动副 A 的位置, 然后根据各转动副中心间的尺寸, 按适当的比例尺确定转动副 B、C 及 D 的位置; 再用规定的符号绘制出机构运动简图, 如图 1-10b 所示。

例 1-2 绘制图 1-11a 所示单缸内燃机的机构运动简图。

解 1) 内燃机由三个机构组成, 活塞 1 是原动件, 推杆 8 是执行件, 缸体 4 是机架, 其余为传动件。

2) 曲柄滑块机构中活塞 1 与缸体 4 组成移动副, 活塞 1 与连杆 2、连杆 2 与曲轴 3、曲轴 3 与缸体 4 分别组成转动副。

齿轮机构中, 齿轮 5 与缸体 4、齿轮 6 与缸体 4 分别组成转动副, 齿轮 5 与齿轮 6 组成齿轮副。

凸轮机构中凸轮 7 与缸体 4 组成转动副, 推杆 8 与缸体 4 组成移动副, 凸轮 7 与推杆 8 组成凸轮副。

3) 图 1-11a 已清楚地表达出各构件间的运动关系, 故选此平面作为视图平面。

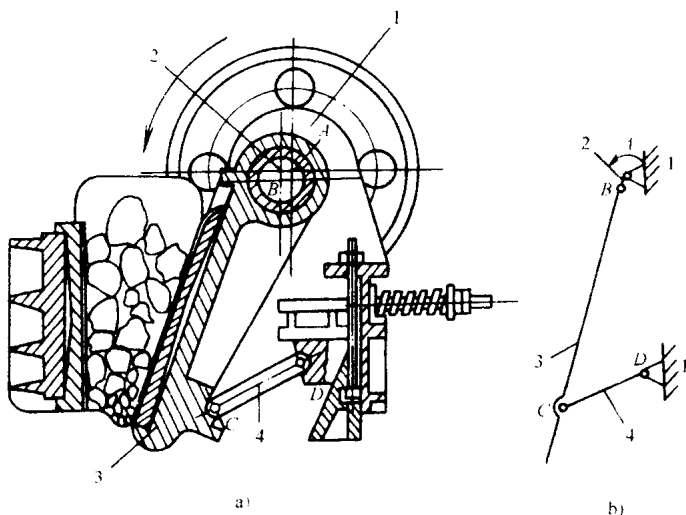


图 1-10 颚式破碎机及其机构运动简图

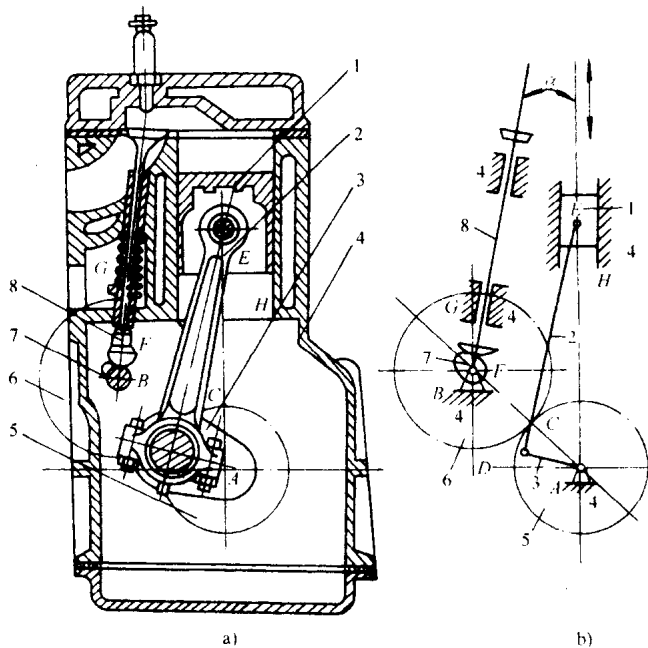


图 1-11 内燃机及其机构运动简图

4) 先绘出滑块导路中心线及运动副 A 的位置, 然后根据构件尺寸和各运动副之间的尺寸, 按适当的比例尺, 用构件和运动副的规定符号, 绘制出机构的运动简图, 如图 1-11b 所示。

第三节 运动链成为机构的条件

一、构件的自由度

一个作平面运动的自由构件具有三个独立的运动。如图 1-12 所示, 即沿 x 轴和 y 轴的移动以及在 xOy 平面内的转动。构件的这三种独立的运动称为其自由度。所以一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

二、平面运动副对构件的约束

两个构件直接接触构成运动副后, 构件的某些独立运动将受到限制, 自由度随之减少。运动副对构件的独立运动所加的限制称为约束。每引入一个约束, 构件就减少一个自由度。运动副的类型不同, 引入的约束数目也不同, 如图 1-1 所示转动副约束了两个移动, 只保留一个转动; 如图 1-2 所示移动副约束了沿一轴方向的移动和在平面内的转动, 只保留沿另一轴方向的移动; 如图 1-3 所示高副只约束了沿接触处公法线方向的移动, 保留了绕接触处的转动和沿接触处公切线方向的移动。由上可知, 在平面机构中, 平面低副引入两个约束, 平面高副引入一个约束。

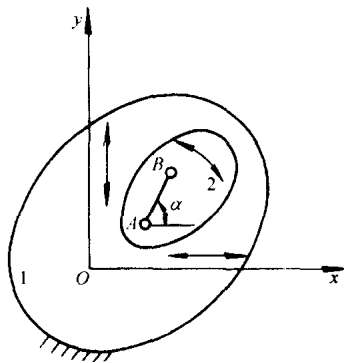


图 1-12 构件的自由度

三、平面运动链的自由度

确定平面运动链中各构件相对于其中某一构件的位置所需的独立参变量的数目, 称为平面运动链的自由度。它取决于运动链中活动构件的数目、联接各构件的运动副的类型和数目。

设一个平面运动链共有 k 个构件, 取其中一个构件作机架, 则活动构件的数目为 $n=k-1$ 。在未用运动副联接之前, 这些活动构件应有 $3n$ 个自由度。当用 P_L 个低副、 P_H 个高副联接成为运动链后, 这些运动副共引入 $2P_L+P_H$ 个约束。每引入一个约束, 构件就失去一个自由度, 故整个运动链相对机架的自由度, 应为活动构件自由度的总数与运动副引入的约束总数之差。若以 F 表示运动链的自由度数, 则有

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

这就是平面运动链的自由度计算公式。

例 1-3 计算图 1-10b 所示颚式破碎机机构的自由度。

解 由机构运动简图可知, 该机构由四个构件、四个转动副组成。机构的活动构件数 $n=3$, 低副数 $P_L=4$, 高副数 $P_H=0$, 则机构的自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 3-2\times 4=1$$

四、运动链成为机构的条件

图 1-13 所示为平面三构件运动链, 其自由度 $F=3n-2P_L-P_H=2\times 3-2\times 3=0$ 。这说明该运动链中各构件之间没有相对运动, 只是构成一个刚性桁架, 故不能成为机构。

图 1-14 所示为平面四构件运动链, 其自由度 $F=3n-2P_L-P_H=3\times 3-2\times 5=-1$, 表明该运动链由于约束过多, 已成为超静定桁架, 也不能成为机构。

由上可知, 运动链能成为机构的首要条件是: 运动链的自由度必须大于零。

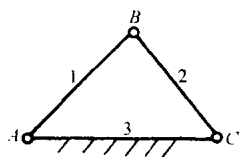


图 1-13 平面三构件

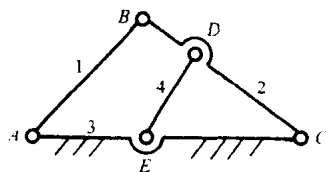


图 1-14 平面四构件

当运动链自由度大于零时, 如果原动件数少于运动链的自由度数, 运动链就会出现运动不确定现象, 如图 1-15 所示。如果原动件数大于运动链的自由度数, 则运动链中最薄弱的构件或运动副可能被破坏, 如图 1-16 所示。只有当原动件的数目等于运动链的自由度数时, 构件之间才能获得确定的相对运动。

综上所述, 运动链成为机构的条件为: 取运动链中一个构件相对固定作为机架, 运动链相对于机架的自由度必须大于零, 且原动件的数目等于运动链的自由度数。

满足以上条件的运动链则为机构, 机构的自由度可用式 (1-1) 进行计算。

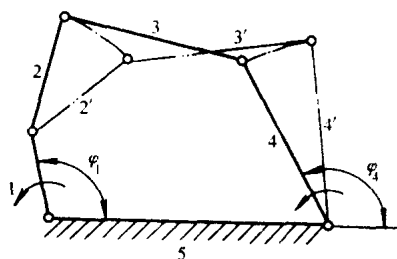


图 1-15 原动件数 < F

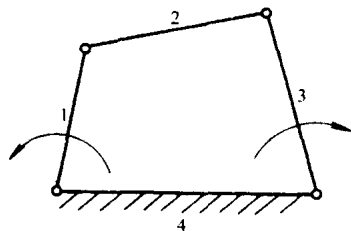


图 1-16 原动件数 > F

五、计算平面机构的自由度时应注意的问题

应用式 (1-1) 计算平面机构的自由度时, 不能忽视下述几种特殊情况, 否则将得不到正确的结果。

(一) 复合铰链

两个以上构件在同一处以转动副相联接所构成的运动副, 称为复合铰链。图 1-17a 所示是三个构件在一处构成复合铰链。

从图 1-17b 中可以看出, 构件 1 分别与构件 2、构件 3 构成两个转动副。依此类推, k 个构件在一处以转动副相联, 应具有 $k-1$ 个转动副。统计转动副数目时应注意这种情况, 以免遗漏。

例 1-4 计算图 1-18 所示摇筛机构的自由度。

解 机构中有 5 个活动构件, A、B、D、E、F 处各有 1 个转动副, C 处为 3 个构件组成的复合铰链, 有 2 个转动副, 故 $P_L=7$, $P_H=0$, 则机构的自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 5-2\times 7-0=1$$

(二) 局部自由度

机构中出现的与输出构件运动无关的自由度, 称为局部自由度, 在计算机构自由度时应予以排除。如图 1-19a 所示的凸轮机构, 当主动构件凸轮 1 绕 O 点转动时,

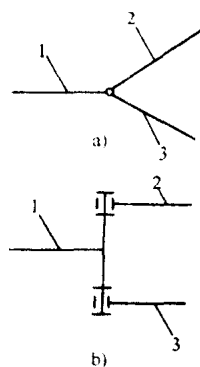


图 1-17 复合铰链