

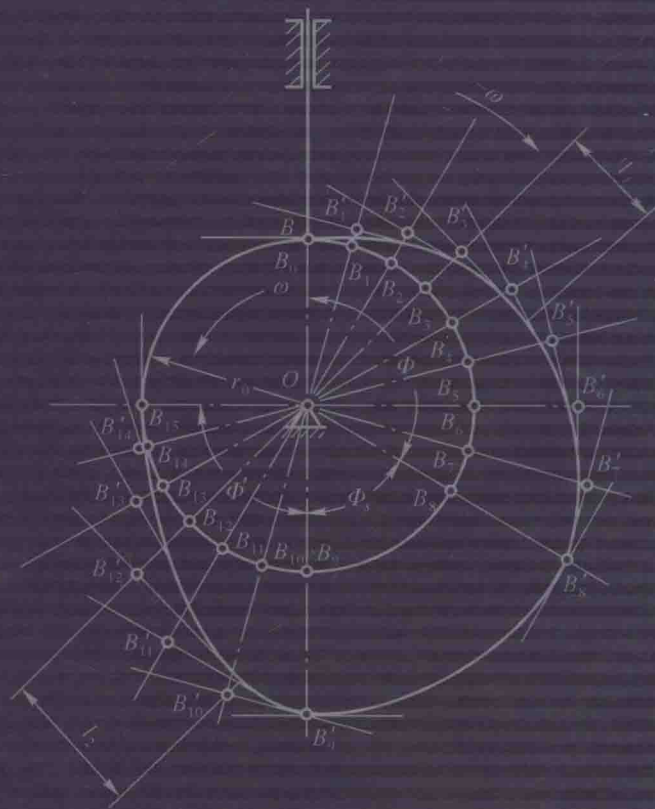
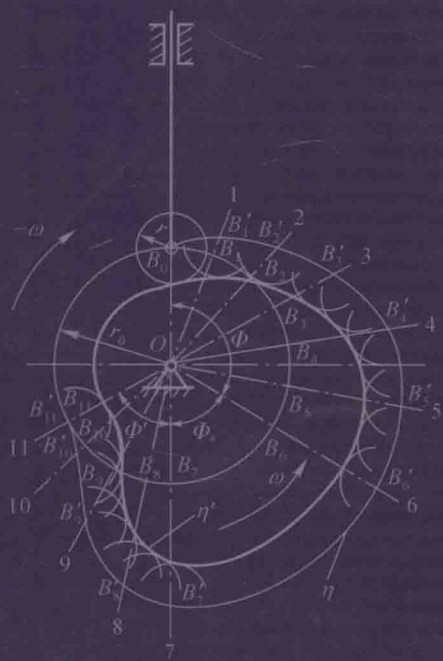
■ 高等院校机械工程系列教材

J I X I E J I C H U

机械基础

(第二版)

陈秀宁 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

高等院校机械工程·工业工程系列教材

机 械 基 础

(第二版)

陈秀宁 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

内 容 提 要

本书是根据高等工业学校机械基础课程教学的基本要求,结合面向 21 世纪课程内容体系改革实践和当前科学技术发展,在总结第一版使用经验的基础上修订编写的。

全书共 10 章,内容有总论(主要讲述机械的组成、机械设计的基本知识),工程力学基础,联接,连续回转传动,变换运动形式的传动,轴及其支承、接合与制动,弹簧、机架与导轨,调速和平衡,液压传动与气压传动,机械的发展与创新。书末附有思考题与习题。

本书可作为高等工科院校非机械类专业机械基础课程的教材,也可作为高等成人教育、远程教育有关专业的教材和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础 / 陈秀宁主编. — 杭州:浙江大学出版社,
1991.1(2010.8 重印)
ISBN 978-7-308-02082-4

I.机… II.陈… III.机械学—高等学校—教材 IV.TH11
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 087141 号

机械基础(第二版)

陈秀宁 主编

责任编辑 杜希武
封面设计 刘依群
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 杭州中大图文设计有限公司
印 刷 德清县第二印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 20.75
字 数 504 千
版 印 次 2009 年 8 月第 2 版 2010 年 8 月第 12 次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-02082-4
定 价 39.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591

第二版前言

本书第一版自 1999 年出版以来,受到广大师生、工程技术人员及有关部门专家和读者的热情支持和鼓励,在培养学生与帮助工程技术人员掌握机械设计基础知识的过程中取得成效,得到辐射。根据面向 21 世纪课程内容体系改革的有关精神和教改实践以及科学技术的深入发展、培养高素质创新人才的需要,本书修订编写的第二版与读者见面。现就修订编写工作的有关问题说明如下。

1. 继承和保持原有版本经使用实践被广泛认同的优点、特色和风格。内容力求保证机械设计的基本知识、基本理论、基本技能,适当扩充应用领域和反映现代机械学科的科技成果与信息。

2. 注意工程力学、机械原理、机械设计课程内容的有机融合,适度拓宽液压传动与气压传动、机电一体化、机械的发展与创新等内容,重视工程应用和创新意识与能力的培养。

3. 全书对以前版本所列标准、规范和设计资料作了更新,尽量采用最新颁布的、较成熟的数据。

4. 思考题与习题由 230 道增至 250 道,增加的题目多为关于机械创新、创意的内容供读者思考和探索。

5. 更正了原书文字、插图及计算中的疏漏和排印中的错误。

参加本书编写的有:陈秀宁(第 1、2、9、10 章及思考题与习题),陈文华(第 4 章),章维明(第 5、8 章),汪久根(第 6、7 章),顾大强(第 3 章)。全书由陈秀宁主编和修订。

本书承中科院首届海外评审专家、博士生导师陈延伟教授审阅;西南交通大学吴鹿鸣教授、浙江大学马骥教授等许多同行专家对本书编写热情支持并提出宝贵建议;吴碧琴先生为本书整理书稿并作润色;陈长辉先生为本书精心校图。编者在此一并致以衷心的感谢。

限于编者水平,书中误漏和不妥之处,殷切期望专家和读者指正。

编者

2008 年 8 月于杭州

目 录

第 1 章 总论	1
§ 1-1 机械的组成	1
§ 1-2 本课程研究的内容和目的	2
§ 1-3 机械运动简图及平面机构自由度	3
§ 1-4 机件的失效及其工作能力准则	9
§ 1-5 机件的常用材料及其选用原则	10
§ 1-6 机械应满足的基本要求及其设计的一般程序	15
第 2 章 工程力学基础	17
§ 2-1 工程力学的内容和任务	17
§ 2-2 静力学基础	18
§ 2-3 力系的合成及平衡	25
§ 2-4 轴向拉伸与压缩	34
§ 2-5 剪切和挤压	39
§ 2-6 扭转	41
§ 2-7 弯曲	46
§ 2-8 组合变形、压杆稳定	59
§ 2-9 动荷应力、交变应力、应力集中	64
第 3 章 联接	70
§ 3-1 螺纹联接	70
§ 3-2 键联接、花键联接、成形联接和销联接	87
§ 3-3 铆接、焊接、粘胶和过盈联接	92
第 4 章 连续回转传动	96
§ 4-1 齿轮传动的特点和类型	96
§ 4-2 渐开线齿轮传动的主要参数和几何尺寸	97
§ 4-3 渐开线直齿圆柱齿轮的加工与精度	103
§ 4-4 渐开线直齿圆柱齿轮传动的承载能力	106
§ 4-5 斜齿圆柱齿轮传动	113
§ 4-6 锥齿轮传动	117
§ 4-7 齿轮的结构与润滑	121
§ 4-8 蜗杆传动	123
§ 4-9 链传动	129

§ 4-10	带传动	136
§ 4-11	轮系、减速器及机械无级变速传动	148
第 5 章	变换运动形式的传动	160
§ 5-1	连杆传动	160
§ 5-2	凸轮传动	170
§ 5-3	步进传动	185
§ 5-4	螺旋传动	190
§ 5-5	变换运动的机构组合	193
第 6 章	轴及其支承、接合与制动	196
§ 6-1	轴	196
§ 6-2	滑动轴承	205
§ 6-3	滚动轴承	211
§ 6-4	联轴器、离合器与制动器	223
第 7 章	弹簧、机架与导轨	231
§ 7-1	弹簧	231
§ 7-2	机架	241
§ 7-3	导轨	243
第 8 章	调速和平衡	247
§ 8-1	机械速度的波动与调节	247
§ 8-2	回转件的平衡	250
第 9 章	液压传动与气压传动	254
§ 9-1	液压传动的基本知识	254
§ 9-2	油泵	259
§ 9-3	油缸和油马达	262
§ 9-4	液压阀	264
§ 9-5	液压辅助元件	273
§ 9-6	液压系统图实例及液压系统设计简介	274
§ 9-7	液压随动系统	277
§ 9-8	气压传动简介	278
第 10 章	机械的发展与创新	280
§ 10-1	机械发展与创新概述	280
§ 10-2	有关机械创新的几个方面	281
	思考题与习题	302
	主要参考书目	325

第1章 总论

§ 1-1 机械的组成

机械是机器和机构的总称。

在工农业生产、交通运输、国防、科研以及人们的日常生活中,应用着各式各样的机器。机器的种类很多,但就其用途而言,不外乎两类:一类是提供或转换机械能的机器,如电动机、内燃机等动力机器;另一类则是利用机械能来实现预期工作的机器,如起重运输机、机床、插秧机、纺织机等各种工作机器。这许许多多工作机器,它们的形式、构造都不相同,各具自身的特点;但一切工作机器的组成通常都有其共同之处。现举简单机械为例,阐述机器的基本组成。

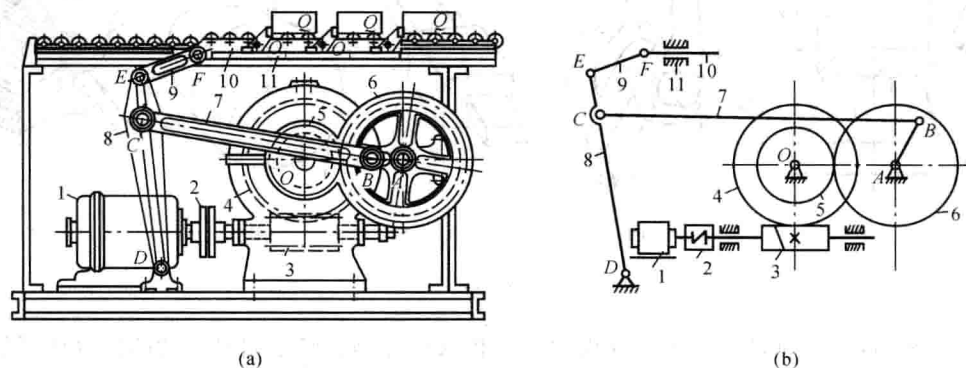


图 1-1

图 1-1a、b 为一加热炉运送机的前视图和机动示意图。电动机 1 高速回转,其轴用联轴器 2 和蜗轮减速器的蜗杆 3 相联,经由蜗杆 3 和蜗轮 4 减速后再经开式齿轮 5 和 6 减速,使大齿轮轴以较低的转速回转。通过销接在大齿轮 6 和摇杆 8 上的连杆 7,使摇杆 8 绕轴 D 作往复摆动。再通过销接在摇杆 8 和推块 10 上的连杆 9,使推块 10 在机架 11 的滚道上往复移动,向右时输送工件,速度较慢,力量较大,运动平稳;而在向左作空载返回时,则速度较快,节省时间。通过上例,可以归纳成以下几点认识:

1) 在上述机器中,推块以一定的规律在机架滚道上往复移动运送物料,是机器直接从事生产工作的部分,称为工作部分(或执行部分)。电动机是机器工作的运动和动力来源,称为原动机。而齿轮传动、蜗杆传动、连杆传动等是将原动机的运动和动力传递和变换到工作部分的中间环节,称为传动装置。传动装置在机器中的作用是:①改变速度(可以是减速、增速

或调速);②改变运动形式;③在传递运动的同时传递动力。一台完整的工作机器通常都包含工作部分、原动机和传动装置三个基本职能部分。为使上述三个基本职能部分彼此协调运行,并准确、安全、可靠地完成整机功能,通常机器还具有操纵和控制部分(图中未曾表达),现代机器的控制部分常常带有高科技机电一体化特点,计算机和传感器在现代机器中发挥协调控制的核心作用。

2)任何机器都是由许多零件组合而成。根据机器功能、结构要求,某些零件需固联成没有相对运动的刚性组合,成为机器中运动的一个基本单元体,通常称为构件(如图 1-1 中蜗轮 4 与齿轮 5 分别用键和轴 O 联成一个构件)。构件与零件的区别在于:构件是运动的基本单元,而零件是制造的基本单元;有时一个单独的零件也是一个最简单的构件。构件与构件之间通过一定的相互接触与制约,构成保持确定相对运动的“可动联接”,这种可动联接称为“运动副”。常见的运动副有回转副(图 1-2a、b 中 1、2 两构件呈面接触、且只能作相对转动,如轴与轴承,铰链)、移动副(图 1-2c 中 1、2 两构件呈面接触、且只能作相对移动,如滑块与导轨)和滚滑副(图 1-2d、e 中 1、2 两构件呈点或线接触,其相对运动有沿接触处公切线 $t-t$ 的相对滑动和绕接触处的相对滚动,如凸轮与从动件,一对轮齿)等类型。一切机器都是由若干构件以运动副相联接并具有确定相对运动,用来完成有用的机械功或转换机械能的组合体。

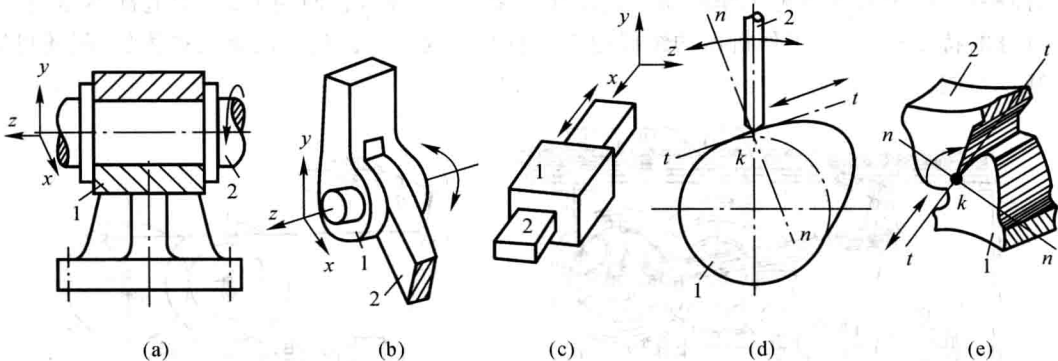


图 1-2

需要指出,机构也是由若干构件以运动副相联接并具有确定相对运动的组合体;但机器用来完成有用的机械功或转换机械能,而机构在习惯上主要是指传递运动的机械(如仪表等)以及从运动的观点加以研究而言的。机器中必包含一个或一个以上的机构。

3)机器的工作部分随各机器的不同用途而异,但在不同的机器组成中常包含有齿轮、蜗杆、带、链、连杆、凸轮、螺旋、棘轮等传动机构以及螺钉、键、销、弹簧、轴、轴承、联轴器等零部件,它们在各自不同的机器中所起的作用和工作原理却是基本相同。对这些在各种机器中常见的机构和零部件,一般称为常用机构和通用零部件。常用机构和通用零部件在某种意义上可以说是各种机器共同的、重要的组成基础。

§ 1-2 本课程研究的内容和目的

研究机械可以从许多方面进行,“机械基础”课程研讨的主要内容是:机械组成的一些基

本原理和规律、发展和创新;机械中常用的工程力学基础知识;组成机械的一些常用机构、机械传动、通用零部件的工作原理、特点及应用,结构及其基本的选用和计算方法;机械设计的一般原则和步骤等共同性问题。它是工科院校中一门重要的技术基础课。通过本课程的学习和实践,达到下列要求:①了解机械的发展、使用、维护和管理的一些基础知识;②掌握机械中常用的工程力学基础知识;③掌握机械中常用的机构、通用零部件的工作原理、特点、选用及其简单的设计计算方法;④初步具有分析简单机械的运动和结构的能力,了解简单机械系统设计的一般步骤和方法。

机械工业的水平,在一定程度上是国家工业技术发展水平的标志之一。对工程专业的学生来说,其所学习和从事的工程对象均不能脱离机械及其装置,本课程将在机械的基本知识、基本理论和基本技能方面为之打下宽广和重要的基础。

§ 1-3 机械运动简图及平面机构自由度

一、机械运动简图

在设计新机械或革新现有机械时,为便于分析研究,常需把复杂的机械用一些简单的线条和规定的符号将其传动系统、传动机构间的相互联系、运动特性表示出来,表示这些内容的图称为机械运动简图或机动示意图(如图 1-1b)。从运动简图中可以清晰地看出原动机的运动和动力通过哪些机构、采用何种方式,使机器工作部分实现怎样的运动;根据运动简图再配上某些参数便可对机器进行传动方案比较、运动分析和受力分析,并为机械系统分析、主要传动件工作能力计算、机件(构件和零件之统称)结构具体化和绘制装配图提供条件。

机械的运动特性与构件的数目、运动副的类型和数目,以及运动副之间的相对位置(如回转副中心、移动副中心线等)有关。机构、构件和运动副是组成机器并直接影响机器运动特性的要素。这些要素必须在运动简图中确切而清楚地表示出来,而那些与运动特性无关的因素(如组成构件的零件数目、实际截面尺寸、运动副的具体构造)则应略去,无需在运动简图中表达。绘制运动简图实际就是用一些运动副、构件以及常用机构简单的代表符号(参见表 1-1)按传动系统的布局顺序绘制出来,这样便能清晰地反映与原机械相同的运动特性和传递关系。

根据实际机械绘制其运动简图时,首先应进行仔细观察和分析,分清各种机构,判别固定构件(通常是机架)与运动构件(运动构件中由外力直接驱动、其运动规律由外界确定的构件称为主动构件,其余的运动构件称为从动构件),数出运动构件的数目,并根据构件间相对运动性质确定其运动副的类型。其次,测量各个构件上与运动有关的尺寸——运动尺寸(如确定运动副相对位置和滚滑副接触面形状的尺寸)。然后根据这些运动尺寸选择适当的长度比例尺($\mu_L = \text{实际长度} / \text{图示长度}$,单位为 m/mm 或 mm/mm)和视图平面(通常为构件的运动平面),用规定的或惯用的机构、构件和运动副的代表符号绘制简图。一般先画固定构件及其上的运动副,接着画出与固定构件相联的主动构件(位置可任意选定),以后再按运动和力的传递关系顺序画出所有从动构件及相联的运动副以完成机械运动简图;最后,还应仔

表 1-1 运动简图中的常用符号

活动件		传动	圆柱齿轮	
固构定件			锥齿轮	
回转副			齿轮齿条	
移动副			蜗轮与圆柱蜗杆	
球面副			向心轴承	
螺旋副			推力轴承	
零轴联接与	 活套联接 导键联接 固定联接	轴	单向推力	
凸从动件			双向推力	
槽传动		单向向心推力轴承		
棘传动		双向向心推力轴承		
带传动	 类型符号, 标注在带的上方 V带 同步带 平带 圆带	弹簧	压簧	
链传动	 类型符号, 标注在轮轴连心线的上方 滚子链 齿形链 环形链	联轴器	一般符号	
		离合器	固定式	
		制动器	可移式	
		原动机	弹性联轴器	
			可控离合器	
			单向啮合式	
			单向摩擦式	
			自动离合器	
			通符用号	
			电动机	

细检查运动构件的数目、运动副的类型和数目及其相对位置与联接关系等有无错误,否则将不能正确反映实际机械的真实运动。

以一定的比例尺绘制运动简图,便于用图解法在图上对机构进行运动和力的分析。工程上还广泛应用不按严格的比例绘制的运动简图,通常称为机动示意图。在机动示意图上只是定性地表达出机械中各构件之间的运动和力的传递关系,但绘制却较方便。

下面通过几个例子,对绘制运动简图再作些具体说明。

例 1-1 图 1-3a 为一偏心轮滑块机构,图 1-3b 为其运动简图,作图步骤如下:

1) 认清机架及运动构件数目并标上编号;确定主动构件。

1—机架;2—偏心轮;3—连杆;4—滑块;确定偏心轮 2 为主动构件。

2) 根据相联两构件相对运动的性质,确定运动副的类型。

图 1-3a 中,1-2 属回转副;2-3 联接部分的实际结构是连杆 3 的一端圆环的内圆柱面套在偏心轮 2 的外圆柱面上,连杆 3 对偏心轮 2 之间的相对运动为绕圆心 A 的转动,所以也是回转副(运动副的实际构造可有各式各样,应抓住两构件可能的相对运动性质来正确判断运动副的类别);同理,3-4 也属回转副;而 4-1 则为移动副。

3) 确定回转副的转动中心所在位置和移动副中心线方位,选构件的运动平面,并用代表符号和线条按比例画出运动简图。

1-2 回转副中心在 O 点;2-3 回转副中心在 A 点;3-4 回转副中心在 B 点;4-1 移动副上 B 点移动方位线 $m-m$ 方向水平,该线偏离固定中心 O 的距离为 e 。画图时先画机架 1 及其上的回转副中心 O (固定点),按偏距 e 作水平线即为机架 1 上移动副中心线 $m-m$ (固定线),按主动构件 2 上两回转副中心 O 、 A 距离及其某一瞬时位置定出 A 点,联 O 、 A 点得构件 2;以 A 为圆心,构件 3 两回转副中心 A 、 B 距离为半径作弧与线 $m-m$ 之交点即为 B 点,联 A 、 B 点得构件 3;最后以代表符号画出构件 4 及与机架 1 的移动副,即得如图 1-3b 所示运动简图。

例 1-2 图 1-4a 为一凸轮机构,主动构件凸轮 2 与机架 1 组成回转副 A ,从动杆 3 分别与凸轮 2、机架 1 组成滚滑副 B 与移动副 C 。对照例 1-1 作图步骤绘制出图 1-4b 所示运动简图。需要指出的是,对滚滑副应按比例作出组成滚滑副的接触部分形状;画机动示意图时,只要大致画出廓线形状就可以了。

例 1-3 图 1-1a 所示加热炉运送机,电动机到工作部分整个传动系统采用的机构及其运动传递情况,在 § 1-1 中已予阐述,其机架、各运动构件以及运动副的数目、类型、位置都不难分析,对照上述步骤,可作

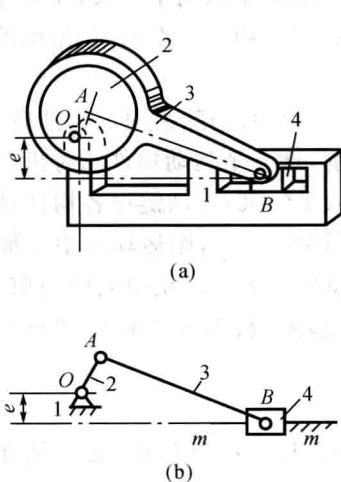


图 1-3

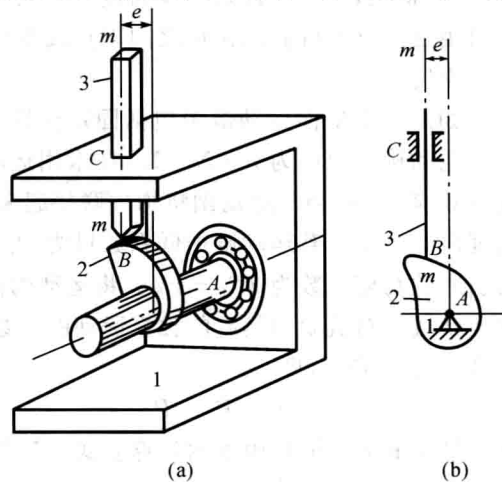


图 1-4

出如图 1-1b 所示之运动简图(机动示意图)。需要指出的是:蜗杆和蜗轮以及一对齿轮的轮齿都是构成滚滑副,但它们都已有惯用的代表符号(表 1-1),绘制运动简图时无需表示出其齿廓形状。

二、平面机构的自由度

所有运动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。目前工程中常见的机构大多为平面机构。

如前所述,机构是由若干构件用运动副相联接并具有确定相对运动的组合体;我们把若干构件用运动副联成的系统称为运动链,其中有一个构件为固定构件(机架),只有当给定运动链中一个(或若干个)构件作为主动构件以独立运动,其余构件随之作确定的相对运动,这种具有确定相对运动的运动链才成为机构。讨论运动链在什么条件下才能具有确定的相对运动,对于设计新机构或分析现有机构都是非常重要的。

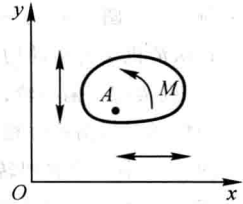


图 1-5

1. 平面机构自由度的计算公式及其意义

一个作平面运动的自由构件(未与其他构件用运动副相联)有三个独立的运动,如图 1-5 所示,在 xoy 坐标系中,构件 M 可以作沿 x 轴线移动、沿 y 轴线移动以及绕任何垂直于 xoy 平面的轴线 A 转动。运动构件的这三种可能出现的独立的自由运动称为构件的自由度,所以作平面运动的自由构件具有三个自由度。

当构件之间用运动副联接以后,在其联接处,它们之间的某些相对运动将不能实现,这种对于相对运动的限制称为运动副的约束,自由度数将随引入约束而相应地减少。不同类型的运动副,引入的约束不同,保留的自由度也不同;如图 1-2a、b 所示回转副约束了运动构件沿 x 、 y 轴线移动的两个自由度,只保留绕 z 轴转动的一个自由度;图 1-2c 所示移动副约束了构件沿一轴线 y 移动和在 xoy 平面内转动的两个自由度,只保留了沿另一轴线 x 移动的一个自由度;图 1-2d、e 所示滚滑副只约束了沿接触处 k 公法线 $n-n$ 方向移动的一个自由度,保留绕接触处转动和沿接触处公切线 $t-t$ 方向移动的两个自由度。所以,在平面运动链中,每个低副(两个构件之间以面接触组成的回转副和移动副)引入两个约束,使构件丧失两个自由度;每个高副(两构件之间以点或线接触组成的滚滑副)引入一个约束,使构件丧失一个自由度。

如果一个平面运动链中包括固定构件在内共有 N 个构件,则除去固定构件后,运动链中的运动构件数应为 $n = N - 1$ 。在未用运动副联接之前,这 n 个运动构件相对机架的自由度总数应为 $3n$,当用运动副将构件联接起来后,由于引入了约束,运动链中各构件具有的自由度就减少了。若运动链中低副数目为 P_L 个,高副数目为 P_H 个,则运动链中全部运动副所引入的约束总数为 $2P_L + P_H$ 。将运动构件的自由度总数减去运动副引入的约束总数,即为运动链相对机架所具有的独立运动的个数,称为运动链相对机架的自由度(简称运动链自由度),以 F 表示,即

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

这就是平面运动链自由度的计算公式。我们通过以下各例进一步分析平面运动链在什么条件下才能成为具有确定性相对运动的平面机构。

图 1-6a、b 所示平面运动链的自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$,若以构件

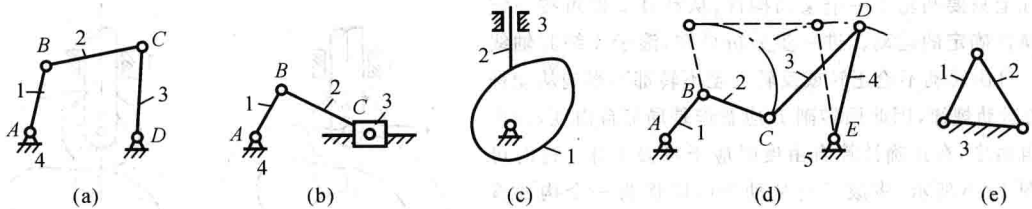


图 1-6

1 为主动构件,则其余运动构件将随之作确定的运动。图 1-6c 所示平面运动链的自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$,若以凸轮 1 为主动构件,则从动杆 2 亦作确定的往复移动。图 1-6d 所示平面运动链的自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$,若以 1、4 两个构件为主动构件,则其他从动构件 2、3 随之作确定的运动。可见,给定运动链的主动构件数等于其自由度时,即成为具有确定相对运动的机构。但若主动构件数小于运动链的自由度,如图 1-6d 中,仅构件 1 为主动构件,则其余从动构件 2、3、4 不具确定的运动;若主动构件数大于运动链的自由度,如图 1-6a、b 中,使构件 1、3 都为主动构件并从外界给定独立运动,势必将构件折断。再分析图 1-6e,运动链的自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 3 - 0 = 0$,各构件的全部自由度将失去,不能再有从外界给定独立运动的主动构件,从而形成各构件间不会有相对运动的刚性构架。综上所述,运动链成为具有确定相对运动的机构的必要条件为:

- 1) 运动链的自由度必须大于零;
- 2) 主动构件数等于运动链的自由度。

通常把整个运动链相对机架的自由度称为机构的自由度,所以式 (1-1) 也称为平面机构自由度的计算公式。

2. 计算平面机构自由度时应注意的问题

1) 复合铰链。三个或三个以上构件在同一轴线上用回转副相联接构成复合铰链,如图 1-7 所示为三个构件在同一轴线上构成两个回转副的复合铰链。可以类推,若有 m 个构件构成同轴复合铰链,则应具有 $m-1$ 个回转副。在计算机构自由度时应注意识别复合铰链,以免漏算运动副的数目。

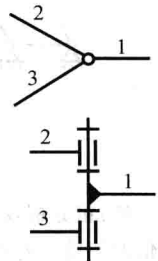


图 1-7

例 1-4 计算图 1-8 所示摇筛机构自由度

解:粗看似乎是 5 个运动构件和 A、B、C、D、E、F 等铰链组成六个回转副,由式 (1-1) 得 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 0 = 3$,如果真如此,则必须有三个主动构件才能使机构有确定的运动。但这与实际情况显然不符,事实上,整个机构只要一个构件即构件 1 作为主动构件即能使运动完全确定下来,这种计算错误是因为忽略了构件 2、3、4 在铰链 C 处构成复合铰链,组成两个同轴回转副而不是一个回转副之故,故总的回转副数 $P_L = 7$,而不是 $P_L = 6$,据此按式 (1-1) 计算得 $F = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$,这便与实际情况相符了。

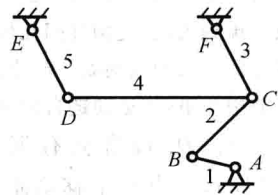


图 1-8

2) 局部自由度。不影响机构中输出与输入关系的个别构件的独立运动称为局部自由度(或多余自由度),在计算机构自由度时应予排除。

例 1-5 计算图 1-9a 所示滚子从动件凸轮机构的自由度

解:粗分析,图示凸轮 1、从动杆 2、滚子 4 三个活动构件,组成两个回转副、一个移动副和一个高副,按式 (1-1) 得 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$,表明该机构有两个自由度;这又与实际情况不符,因为

实际上只要凸轮 1 一个主动构件,从动杆 2 即可按一定规律作确定的运动。进一步分析可知,滚子 4 绕其轴线 B 的自由转动不论正转或反转甚至不转都不影响从动杆 2 的运动规律,因此回转副 B 应看作是局部自由度,即多余自由度,在正确计算自由度时应予除去不计。这时可如图 1-9b 所示,将滚子与从动杆固联作为一个构件看待,即按 $n=2$ 、 $P_L=2$ 、 $P_H=1$ 来考虑,则由式(1-1)得 $F=3n-2P_L-P_H=3\times 2-2\times 2-1=1$,这便与实际情况相符了。

局部自由度虽然不影响机构输入与输出运动关系,但上例中的滚子可使高副接触处的滑动摩擦(见图 1-6c)变成滚动摩擦,从而提高效率、减少磨损。在实际机械中常有这类局部自由度出现。

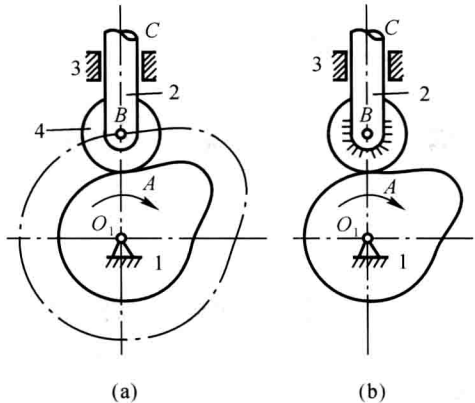


图 1-9

3) 虚约束。在运动副引入的约束中,有些约束对机构自由度的影响与其他约束重复,这些重复的约束称为虚约束(或消极约束),在计算机构自由度时也应除去不计。

例 1-6 图 1-10a 所示机构,各构件的长度为 $l_{AB}=l_{CD}=l_{EF}$, $l_{BC}=l_{AD}$, $l_{CE}=l_{DF}$, 试计算其自由度。

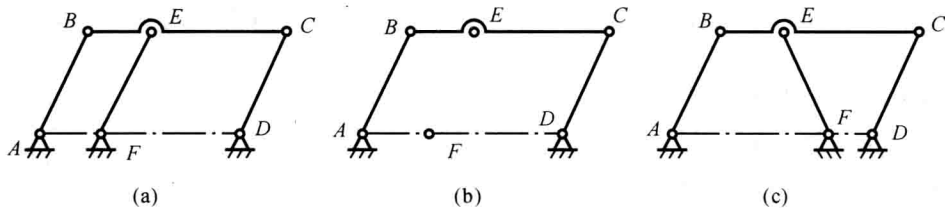


图 1-10

解:粗分析, $n=4$, $P_L=6$, $P_H=0$, 由式(1-1)得 $F=3n-2P_L-P_H=3\times 4-2\times 6-0=0$, 显然这又与实际情况不符。若将构件 EF 除去, 回转副 E、F 也就不复存在, 则成为图 1-10b 所示的平行四边形机构; 此时, $n=3$, $P_L=4$, $P_H=0$, 由式(1-1)得 $F=3n-2P_L-P_H=3\times 3-2\times 4-0=1$, 而其运动情况仍与图 1-10a 所示一样, E 点的轨迹为以 F 点为圆心、以 l_{CD} (即 l_{EF}) 为半径的圆。这表明构件 EF 与回转副 E、F 存在与否对整个机构的运动并无影响, 加入构件 EF 和两个回转副引入了三个自由度和四个约束, 增加的这个约束是虚约束, 它是构件间几何尺寸满足某些特殊条件而产生的, 计算机构自由度时, 应将产生虚约束的构件连同带入的运动副一起除去不计, 化为图 1-10b 的形式计算。但若如图 1-10c 所示, $l_{CE}\neq l_{DF}$, 则构件 EF 并非虚约束, 该运动链自由度为零, 不能运动。

机构中经常会有消极约束存在, 如两个构件之间组成多个导路平行的移动副(图 1-11a), 只有一个移动副起约束作用, 其余都是虚约束; 如两个构件之间组成多个轴线重合的回转副(图 1-11b), 只有一个回转副起约束作用, 其余都是虚约束; 再如图 1-11c 所示行星架 H 上同时安装三个对称布置的行星轮 2、2'、2'', 从运动学观点来看, 它与采用一个行星轮的运动效果完全一样, 即另外两个行星轮是对运动无影响的虚约束。机械中常设计带有虚约束, 对运动情况虽无影响, 但往往能使受力情况得到改善, 图 1-11b 所示用两个支承改善轴的支承及受力、图 1-11c 中采用三个行星轮运转时受力平衡等即是明显例子。

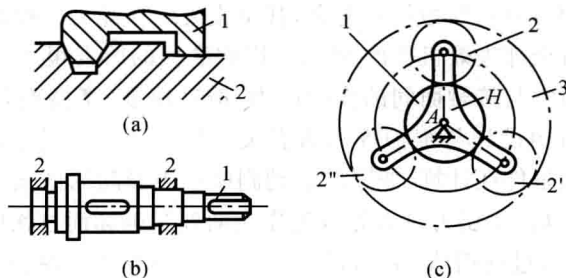


图 1-11

§ 1-4 机件的失效及其工作能力准则

机器在传递动力进行工作的过程中,机件要承受作用力、力矩等载荷,一方面这些载荷要使机件产生不同的损伤与失效;另一方面机件又依靠自身一定的结构尺寸和材料性能来反抗损伤和失效。这是机件在设计和工作过程中存在的一对矛盾,解决这个矛盾的办法通常是合理地选用机件材料和热处理方法,进行机件工作能力的计算,以确定其必要的结构尺寸并按规范运行和维护。

机件主要的损伤及失效形式有:机件产生整体的或工作表面的破裂或塑性变形;弹性变形超过允许的限度;工作表面磨损、胶合、腐蚀和其他损坏;靠摩擦力工作的机件产生打滑和联接松动;超过允许限度的强烈振动;等等。机件的工作能力是指完成一定功能在预定使用期内不发生失效的安全工作限度。衡量机件工作能力的指标称为机件的工作能力准则。主要准则有:

一、强度准则

强度是机件抵抗断裂、过大的塑性变形或表面疲劳损坏的能力。如果机件强度不足,工作中就会出现上述的某种失效而丧失工作能力。强度准则是机件设计计算最基本的准则。其一般表达式为:最大工作应力不超过许用应力。关于应力、许用应力将在工程力学基础和具体机件强度计算中阐述。

二、刚度准则

刚度是机件受载时抵抗弹性变形的能力。机件的刚度不足,将改变其正常的几何位置及形状,从而改变受力状态及影响正常工作。刚度准则的一般表达式为:弹性变形量不超过许用变形量。关于变形、许用变形量将在工程力学基础和具体机件刚度计算中阐述。

三、寿命准则

机件应有足够的寿命,影响机件寿命的主要失效形式有未达需要寿命的疲劳破坏、磨损及腐蚀。寿命准则广义表达式为:计算寿命不低于需要寿命,其计算方法按失效形式而定。

磨损是指机件带有相对运动的接触表面物质不断损失的过程。过度磨损会使机械丧失

应有的精度,产生振动和噪声,缩短使用寿命,甚至丧失工作能力。据统计在一般机械中,因磨损而报废的机件约占全部失效机件的80%。影响磨损的因素很多,产生磨损的机理也十分复杂,机件的磨损,通常与接触面间的作用压力、滑动速度、摩擦副材质与摩擦系数、表面状态与润滑状态以及结构设计与维护等因素有关。目前还没有关于磨损的完善的计算方法。设计时多采用各种条件性计算,如限制运动副摩擦表面间的压强 p (单位接触面所受压力)不超过许用值 $[p]$,以防止压力过大导致工作表面油膜破坏而过快磨损;限制滑动速度 v 与压强 p 的乘积 pv 不超过许用值 $[pv]$,以防止由于单位面积上摩擦功耗过大造成摩擦表面温升过高而引起接触表面胶合等等,合理选用机件摩擦副材料和润滑措施可以极大地减少摩擦和磨损。

腐蚀常是机件表面与周围介质发生的化学或电化学反应造成的磨损。在机械中彻底排除腐蚀一般是困难的,只靠选用耐腐蚀材料是不经济的,而应采用相应的一些减轻腐蚀的机械结构措施。

关于疲劳失效将在工程力学基础和具体机件设计计算中予以阐述。

四、振动稳定性准则

振动产生噪声,降低工作质量,引起附加动载荷,甚至使机件失效。振动稳定性准则是:使机件自振频率与其上周期性外力变化频率(如轴的转速)错开,以避免共振;高速机器同时还采取动平衡、增加弹性元件和阻尼系统等减振、隔振措施以改善机件的抗振动能力。

五、温升准则

有些机件(如蜗杆传动、滑动轴承)在工作时摩擦生热、温度升高使润滑失效,应根据热平衡条件限制润滑油的温升。高温环境或由于摩擦生热形成高温还会引起热变形、附加热应力,降低材料强度性能和机器精度。温升过高应采取降温措施。

工作能力准则常是计算机件基本尺寸的主要依据,对某一个具体机件,常根据一个或几个可能发生的主要失效形式运用相应的准则进行计算求得其承载能力,而以其中最小值作为工作能力的极限。

§ 1-5 机件的常用材料及其选用原则

一、机械制造中常用材料

机械制造中最常用的材料是钢和铸铁,其次是有色金属合金以及一些非金属材料。这些材料的牌号、性能大多有国家标准或部颁标准,可从机械设计手册中查阅。

1. 钢

钢是含碳量低于2%的铁碳合金。钢的强度较高,塑性较好,制造机件时可以轧制、锻造、冲压、焊接和铸造,并且可以用热处理方法(见表1-2)获得高的机械性能或改善切削性能,因此钢是机械制造中应用最广和极为重要的材料。

钢的种类很多,按化学成分分为碳素钢和合金钢;按含碳量多少分为低碳钢(含碳量低

于0.25%)、中碳钢(含碳量0.25%~0.5%)和高碳钢(含碳量大于0.5%);按质量分为普通钢和优质钢。

表 1-2 钢的常用热处理方法及其应用

名称	说明	应用
退火 (焖火)	退火是将钢件(或钢坯)加热到临界温度以上30~50℃保温一段时间,然后再缓慢地冷下来(一般用炉冷)。	用来消除铸、锻、焊零件的内应力,降低硬度使之易于切削加工,并可细化金属晶粒。改善组织,增加韧性。
正火 (正常化)	正火也是将钢件加热到临界温度以上,保温一段时间,然后在空气中冷却,冷却速度比退火为快。	用来处理低碳和中碳结构钢件及渗碳零件,使其组织细化,增加强度与韧性,减少内应力,改善切削性能。
淬火	淬火是将钢件加热到临界温度以上,保温一段时间,然后在水、盐水或油中(个别材料在空气中)急冷下来。	用来提高钢件的硬度和强度极限。但淬火时会引起内应力使钢变脆,所以淬火后必须回火。
回火	回火是将淬硬的钢件加热到临界点以下的温度,保温一段时间,然后在空气中或油中冷却下来。	用来消除淬火后的脆性和内应力,提高钢件的塑性和冲击韧性。
调质	淬火后高温回火,称为调质。	用来使钢件获得高的韧性和足够的强度。很多重要零件是经过调质处理的。
表面淬火	使零件表层有高的硬度和耐磨性。而芯部仍保持原有的强度和韧性的热处理方法。	表面淬火常用来处理齿轮、花键等表面需耐磨的零件。
渗碳	将低碳钢或低合金钢零件,置于渗碳剂中,加热到900~950℃保温,使碳原子渗入钢件的表面层,然后再淬火和回火。	增加钢件的表面硬度和耐磨性,而其芯部仍保持较好的塑性和冲击韧性。多用于重载冲击、耐磨零件。

表 1-3 摘列出常用钢的机械性能及应用举例。

碳素钢在机械设计中最为常用,优质碳素钢如35、45等能同时保证机械性能和化学成分,一般用来制造需经热处理的较重要的机件,普通碳素钢如Q235等一般只保证机械强度而不保证化学成分,不适宜作热处理,故一般只用于不太重要的或不需热处理的机件和工程结构件。碳素钢的性能主要决定于其含碳量。低碳钢可淬性较差,一般用于退火状态下强度不高的机件,如螺钉、螺母、小轴,也用于锻件和焊接件,还可经渗碳处理用于制造表面硬、耐磨并承受冲击负荷的机件。中碳钢可淬性以及综合机械性能均较好,可进行淬火、调质或正火处理,用于制造受力较大的螺栓、键、轴、齿轮等机件。高碳钢可淬性更好,经热处理后有较高的硬度和强度,主要用于制造弹簧、钢丝绳等高强度机件。一般而言,碳钢的含碳量低于0.4%的可焊性好,当含碳量高于0.5%时,可焊性变差。而且,随着含碳量的增加,其可焊性越来越差。

合金钢是由碳钢在其中加入某些合金元素冶炼而成。每一种合金元素含量低于2%或合金元素总含量低于5%的称低合金钢,每一种合金元素含量为2%~5%或合金元素总含量为5%~10%的称中合金钢,每一种合金元素含量高于5%或合金元素总含量高于10%的称高合金钢。合金元素不同时,钢的机械性能有较大的变动并具有各种特殊性质。例如,铬能提高钢的硬度,并能在高温时防锈耐酸;镍使钢具有很高的强度、塑性与韧性;钼能提高