

机械原理学习指导

陈晓南 主编

陈晓南 杨培林 贾焕如 编著

西安交通大学出版社

内容简介

本书是西安交通大学机械原理课程体系改革教材的配套用书。考虑到其它院校学生学习及考研的需要,也同时兼顾了几种常用的机械原理教材。

全书共 10 章,分别介绍了机构分析与设计中的几个基本概念,常用机构的运动特性和传力特性及其应用,机构的变异和组合,机械运动系统方案设计,平面连杆机构设计,凸轮机构的分析与设计,齿轮啮合原理及机构设计,机构组合系统的尺寸设计,机构运动学性能分析,机器动力学性能分析。每章包括重点内容、难点分析与例题、自我测验题三部分。在重点内容中,对应掌握的一些基本概念、基本理论及基本方法作了归纳。在难点分析与例题中,对一些难点问题作了较为详细的分析,针对学生在学习容易出现的问题及错误,做了一些延伸或补充性的论述,并配有大量的典型例题。每章的自我测验题主要用来检验读者对基本概念、基本理论和基本方法的掌握程度。在附录中,选编了国内几所重点大学的硕士研究生入学考试题及西安交通大学近几年的本科生机械原理考试题,并配有这些试题和大部分自我测验题的参考答案。

本书可供相关专业本(专)科学生、考研人员学习参考,也可供有关教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理学习指导/陈晓南等编著. —西安:西安交通大学出版社, 2001.1

ISBN 7-5605-1339-5

I. 机... II. 陈... III. 机构学—高等学校—教学参考资料 IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 57613 号

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)

西安百花印刷厂印装

各地新华书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:11 字数:261 千字

2001 年 1 月第 1 版 2002 年 9 月第 2 次印刷

印数:5 001~7 000 定价:18.00 元

发行科电话(029)2668357 2667874

前 言

机械原理课程是高等工业学校机械类专业开设的一门主干基础技术课程。我校经过近20年的课程内容和体系改革实践,使本课程中机构设计体系更为明确,与设计实践的联系更为紧密,在“机械设计”这个大前提下,使有关课程之间有了更紧密的衔接。因此,本课程以“机械运动系统方案与机构设计”为主要内容。

本课程既不同于公共基础课程的“纯”抽象性,又不同于(专业)技术基础课程的“纯”现实性,它只是考虑到现实中存在的与运动有关的一切影响因素,来研究、设计实现机器运动要求的机构的课程。从工程教育的观点看,本课程就是如何应用已知的基础理论来解决实现运动要求有关的一切现实问题的处理方法,例如,当基础理论的导出条件和现实情况不一致时,应怎样作适当的变通与修正?因此,学习本课程时,不仅要学会从现实中进行抽象来认识运动的本质,还要应用抽象得到的运动理论来解决具有不同现实条件或相同现实条件下的机构设计问题。从现实抽象成模型可以是唯一的,但从抽象的模型要返回到现实中去,其方法和结构形式却不是唯一的,其间充满了创新的机遇。本课程与基础课程的不同之处主要表现在三个方面:一是一题多解;二是只要能实现给定的运动要求,其方案(解)都是对的,其差别在于考虑现实问题的周到性及合理性;三是在思维方式上不限于逻辑推理的方式得出结果,而发散式思维往往会得到意想不到的创新结果。所以,学习本课程时,不仅要学习分析、设计的理论知识,更重要的是通过学习和实践来培养分析和设计机构的能力。

由于课程性质和要求与基础课有所不同,思维方式上也应改变以往原有的思维定势,再加上课内学时的减少,为帮助学生更好地进行自主学习创造条件,我们编写了本书,作为我校学生使用的机械原理教材的配套用书。考虑到其它院校学生学习及考研的需要,也同时兼顾了其它机械原理教材的内容。

根据本课程教学的基本要求,书中具体指出了各章的重点和难点,并根据学生在学习中最容易出现的问题及错误以及我们的教学实践,作了一些延伸或补充性的论述,通过若干典型的例题帮助学生掌握解题思路和方法,帮助学生正确思考问题,学以致用。另外,通过各章的自我测验题来检查学生对基本内容的掌握程度,发现自身学习中存在的问题,达到巩固所学知识的目的。最后书中介绍的部分试题是作为读者扩大思考范围用的参考资料。

本书也可作为各类高等工业院校机械类专业学生学习机械原理课程的辅助参考教材;对其他自学机械运动系统设计的学生或技术人员也有参考价值;对考研和青年教师备课也有一定的帮助和启示。

本书由西安交通大学机械工程学院陈晓南担任主编,并编写第1、5、6章,杨培林编写第2、7、10章,贾焕如编写第3、4、8、9章。在本书的编写过程中,承蒙西安交通大学机械工程学院姜琪教授的悉心指导。姜琪教授在百忙中对本书的编写提出了大量建设性意见并提供了许多宝贵资料,另外,王晶同志对本书的编写也提供了有关资料和建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏和欠妥之处在所难免,恳请广大读者不吝指正。

编著者

2000年8月

目 录

第 1 章 机构分析与设计中的几个基本概念.....	(1)
1.1 重点内容	(1)
1.1.1 机构的组成要素	(1)
1.1.2 机构运动简图	(1)
1.1.3 机构的自由度	(2)
1.1.4 速度瞬心及由瞬心求速度	(3)
1.1.5 运动副中的摩擦力	(4)
1.1.6 机械效率与自锁问题	(6)
1.2 难点分析与例题	(7)
1.2.1 机构运动简图的表示方法	(7)
1.2.2 虚约束的分析与判断	(9)
1.2.3 运动副反力作用线的确定.....	(11)
1.2.4 机构自锁位置的确定.....	(14)
1.3 自我测验题.....	(16)
第 2 章 常用机构的运动特性和传力特性及其应用	(21)
2.1 重点内容.....	(21)
2.1.1 平面铰连四杆机构的特性.....	(21)
2.1.2 凸轮机构的特性.....	(22)
2.1.3 齿轮机构的特性.....	(23)
2.1.4 周转轮系与混合轮系的传动比计算.....	(24)
2.2 难点分析与例题.....	(25)
2.2.1 最小传动角 γ_{\min} 的位置判断.....	(25)
2.2.2 周转轮系与转化轮系.....	(28)
2.2.3 混合轮系中基本轮系的判断与划分.....	(28)
2.3 自我测验题.....	(31)
第 3 章 机构的变异和组合	
3.1 重点内容.....	(35)
3.1.1 机构的变异.....	(35)
3.1.2 棘轮机构.....	(38)
3.1.3 槽轮机构.....	(39)
3.1.4 不完全齿轮机构.....	(39)
3.1.5 万向联轴器.....	(40)
3.1.6 机构的组合.....	(40)
3.1.7 机构组合后的特性.....	(41)
3.2 难点分析与例题.....	(42)

3.3	自我测验题.....	(48)
第4章 机械运动系统方案设计		
4.1	重点内容.....	(50)
4.1.1	技术原理与功能设计.....	(50)
4.1.2	运动方式及运动规律(轨迹)的设计.....	(50)
4.1.3	机构方案设计.....	(51)
4.1.4	多种运动和动作的协调设计.....	(52)
4.2	难点分析与例题.....	(52)
4.3	自我测验题.....	(63)
第5章 平面连杆机构设计		
5.1	重点内容.....	(65)
5.1.1	平面连杆机构的基本设计命题.....	(65)
5.1.2	图解法设计平面连杆机构.....	(65)
5.2	难点分析与例题.....	(68)
5.2.1	如何理解构件的标志(位置)线.....	(68)
5.2.2	反转法与相对转动极.....	(70)
5.3	自我测验题.....	(72)
第6章 凸轮机构的分析与设计		
6.1	重点内容.....	(75)
6.1.1	从动件的运动规律及特点.....	(75)
6.1.2	凸轮机构的基本尺寸的确定.....	(75)
6.1.3	凸轮廓线的设计.....	(78)
6.2	难点分析与例题.....	(79)
6.2.1	用反转法分析凸轮机构.....	(79)
6.2.2	反转法与图解法绘制凸轮轮廓.....	(80)
6.3	自我测验题.....	(84)
第7章 齿轮啮合原理及机构设计		
7.1	重点内容.....	(86)
7.1.1	齿廓啮合基本定律.....	(86)
7.1.2	渐开线及渐开线齿廓.....	(86)
7.1.3	渐开线标准直齿圆柱齿轮.....	(86)
7.1.4	渐开线标准斜齿圆柱齿轮.....	(87)
7.1.5	蜗杆蜗轮机构.....	(88)
7.2	难点分析与例题.....	(89)
7.2.1	齿轮传动的啮合过程.....	(89)
7.2.2	重合度 ϵ 的含义.....	(89)
7.3	自我测验题.....	(93)

第 8 章 机构组合系统的尺寸设计

8.1 重点内容.....	(96)
8.2 难点分析与例题.....	(96)
8.2.1 机构串联组合时机机构系统的尺寸设计.....	(96)
8.2.2 机构并联组合时机机构系统的尺寸设计	(101)
8.3 自我测验题	(104)

第 9 章 机构运动学性能分析

9.1 重点内容	(105)
9.2 难点分析与例题	(105)
9.3 自我测验题	(110)

第 10 章 机器动力学性能分析

10.1 重点内容.....	(112)
10.1.1 机器运转过程及其特征.....	(112)
10.1.2 机器等效动力学模型与等效力矩(力)、等效转动惯量(质量)的计算	(112)
10.1.3 机器运动方程式.....	(113)
10.1.4 机器运转速度的波动及调节.....	(113)
10.1.5 回转体的平衡.....	(114)
10.2 难点分析与例题.....	(115)
10.2.1 等效力矩(力)、等效转动惯量(质量)的计算	(115)
10.2.2 最大盈亏功 W_y 的计算.....	(115)
10.3 自我测验题.....	(121)

附录 A 试题选

A.1 西安交通大学本科生机械原理考试题	(125)
A.2 西安交通大学本科生机械原理考试题	(127)
A.3 西安交通大学本科生机械原理考试题	(130)
A.4 2000 年西安交通大学研究生入学考试题.....	(133)
A.5 1994 年华中理工大学研究生入学考试题.....	(137)
A.6 1993 年和 1994 年浙江大学研究生入学考试题	(140)
A.7 1993 年、1994 年上海交通大学研究生入学考试题	(142)
A.8 1996 年西北工业大学研究生入学考试题.....	(145)

附录 B 试题参考答案

B.1 西安交通大学本科生机械原理考试题	(147)
----------------------------	-------

B.2	西安交通大学本科生机械原理考试题	(147)
B.3	西安交通大学本科生机械原理考试题	(148)
B.4	2000年西安交通大学研究生入学考试题	(149)
B.5	1994年华中理工大学研究生入学考试题	(150)
B.6	1993年、1994年浙江大学研究生入学考试题	(150)
B.7	1993年、1994年上海交通大学研究生入学考试题	(151)
B.8	1996年西北工业大学研究生入学考试题	(152)

附录 C 各章自我测验题参考答案

参考文献

第 1 章 机构分析与设计中的几个基本概念

1.1 重点内容

本章的重点首先是机构组成要素中的一些基本概念,如 构件、运动副、运动链、机构等,其次是机构运动简图的绘制,机构具有确定运动的条件与机构自由度的计算,机构运动的速度瞬心及用瞬心法求速度,运动副中摩擦力及运动副的自锁和机构效率。

1.1.1 机构的组成要素

机构是组成机器的基础。任何一部机器都是由若干个机构所组成。组成机构的两个基本要素是 构件与运动副。

构件是机构中的一个刚性系统。它与机构的其它刚性系统相接触而保持一定的相对运动,简称为“杆”。构件是机构中的运动单元体,或者说是运动的载体,而零件是机器中的制造单元体。

运动副是两构件直接接触而组成的可动联接。它限制了两构件之间的某些相对运动(称之为约束),而允许另一些相对运动存在。两构件组成运动副时,构件上参与接触的点、线或面称为运动副元素。运动副一般按下列方式分类:

(1) 根据组成运动副的两构件相对运动空间分为平面运动副和空间运动副。

平面运动副有转动副、移动副和平面滚滑副(平面高副)3种。除平面运动副以外的运动副均为空间运动副,常见的有螺旋副、球面副、圆柱副等。

(2) 根据两构件的接触情况,可分为低副和高副。两构件通过面的接触而构成的运动副叫低副。如转动副、移动副等。两构件通过点或线的接触而构成的运动副叫高副。如平面滚滑副。

(3) 根据运动副的封闭方式(保持运动副两元素互相接触的方式)可分为形封闭运动副和力封闭运动副。形封闭是利用几何形状来保持运动副两元素互相接触,也称几何封闭。力封闭是利用外力保持运动副两元素互相接触。

(4) 根据运动副所引入约束的数目可分为:I级副、II级副、III级副、IV级副和V级副。

运动链则是构件通过运动副连接而构成的具有相对运动的系统。运动链可分为开式运动链、闭式运动链等。

当运动链具有一个机架,并有一个或若干个运动规律给定的构件(主动件),使其余构件(从动件)相对机架有确定的相对运动,便成了机构。从机器的特征看来,机构就是具有确定相对运动的人为实体的组合系统,而从机构组成来看,机构就是一个约束系统。任何机构都包含机架、主动件(原动件)和从动件系统3个部分。

1.1.2 机构运动简图

机构运动简图是根据机构的尺寸,按比例尺,用指定的构件和运动副符号来表示机构的一

种简化图形。若只表明结构情况,不严格按照比例尺,仍用特定的构件和运动副符号来绘制的简图则称为机构示意图或机动示意图。

机构运动简图是为了便于分析研究机器的运动而从机器中抽象出来的运动模型,它略去了一些与运动无关的因素。主要用于表示机构的组成和运动情况,进行运动分析,作为机构运动设计的目标和构造设计的依据。也可用于对机构进行力分析并作为专利性质的判据。绘制机构运动简图的关键是分清构件,找出相邻构件间的运动关系,认清运动副。然后按照运动传递的顺序,用规定的符号将运动副连接而成。

需要指出的是:机构运动简图是研究运动的模型,而不一定就是力分析的模型。这是因为力分析时,不仅要考虑到构件的形状,还要顾及运动副的具体结构以及其锁合形式等,而这些因素在机构运动简图中均被忽略了。

1.1.3 机构的自由度

机构的自由度是指机构具有确定运动时所需外界输入的独立运动的数目。机构要进行运动变换和力的传递就必须只有确定的运动,其运动确定的条件就是机构主动件(原动件)的数目应等于机构的自由度数。若机构的主动件数目小于机构的自由度数时,机构运动不确定。若机构的主动件数目大于机构的自由度数时,机构将在强度最薄弱处破坏。因此,在分析现有机器或设计新机器时,必须考虑其机构是否满足机构具有确定运动的条件。机构只有在具有确定的运动时,才能进行结构分析、运动分析及力分析等。

1. 平面机构自由度计算

平面机构自由度的计算公式为

$$F = 3n - 2P_5 - P_4 \quad (1.1)$$

式中: F 为机构自由度;

n 为机构中活动构件数;

P_5 为机构中低副数;

P_4 为机构中高副数。

在应用上式计算平面机构自由度时应注意复合铰链、局部自由度、虚约束和公共约束及多环机构等问题。

复合铰链:

两个以上的构件用转动副在同一转动中心并接时,该处的结构称为复合铰链。复合铰链的转动副数目等于 $K - 1$ 个,其中 K 为构成复合铰链的构件数目。

局部自由度:

机构中某些构件具有的并不影响其它构件位置(运动)的自由度。局部自由度通常不计入机构自由度中。

在平面机构中滚子常产生局部自由度。

虚约束:

在机构中与其它约束重复而不起限制运动作用的约束。在计算机构自由度时,可将引入虚约束的运动副或运动链部分去掉不计,以达到去除机构中虚约束的目的。虚约束是在运动副之间的位置具有特殊的几何关系,并且在两构件的轨迹重复处形成,因而情况较为复杂,需仔细分析加以判别。在平面机构中虚约束常出现在机构结构对称、机构含平行四边形等特定

几何条件中。

公共约束：

在机构中由于各运动副的特性及其特殊配置而使所有运动构件共同失去了某些自由度，即给所有运动构件施加了某些公共约束。

在平面机构中公共约束常出现在全移动副机构中。此时所有构件都失去了转动的可能性，这就是它们的公共约束。因而可以认为，机构中每个构件的自由度只有两个，而每个移动副则除了与公共约束相同的一个约束以外，只剩下一个移动约束，所以这时应将公式(1.1)修改为：

$$F = (3 - 1)n - (2 - 1)P_5 \quad (1.2)$$

式中“1”为公共约束数。

多环机构：

如果机构形成多个包含机架在内的环链，则应先分别计算各环的自由度，然后根据各环相连情况确定机构总体的自由度。特别是当各环的自由度数不同或公共约束数不同时，必须如此。

总之，在用公式(1.1)计算平面机构自由度时，首先要正确分析出机构中存在的复合铰链、局部自由度、虚约束、公共约束，在排除了局部自由度和虚约束后再进行计算。此外，还必须对机构的组成情况进行仔细分析，如是多环机构则需先进行分环计算，然后按各环连接情况确定整个机构的自由度。

2. 空间机构自由度计算

空间机构自由度的计算公式为

$$F = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1 \quad (1.3)$$

式中： n 为空间机构中活动构件的数目；

P_i 为空间机构中所含有第 i 级运动副的数目， $i = 1, 2, \dots, 5$ 。

在应用式(1.3)对空间机构进行自由度计算时，同样应分析机构中有无复合铰链、局部自由度、虚约束、公共约束及多环链等问题。

类似于平面机构自由度的计算，若空间机构中有公共约束存在，则式(1.3)应作如下修改：

$$F = (6 - m)n - (5 - m)P_5 - (4 - m)P_4 - \dots \quad (1.4)$$

或

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

式中 m 为机构的公共约束数，根据不同的运动副配置情况， m 可取 0~4。

1.1.4 速度瞬心及由瞬心求速度

速度瞬心是指两互作平面运动的构件(刚体)上绝对速度相等的瞬时重合点，简称瞬心。速度瞬心亦称为**同速点**。若该点的绝对速度为零，则称为**绝对瞬心**，若绝对速度不等于零，则称为**相对瞬心**。

由于每两个构件有一个瞬心，所以由 N 个构件组成的机构(包括机架)，其总的瞬心数目 K 为：

$$K = N(N - 2)/2 \quad (1.5)$$

机构中瞬心的求法

通常用观察法和三心定理法来求瞬心。前者用于直接成副的构件,后者用于不直接成副的构件。

1. 观察法

当两构件直接以转动副相联时,转动副中心即为瞬心;当两构件以移动副相联时,瞬心位于垂直于移动副导路的无穷远处;当两构件组成纯滚动的高副时,瞬心就位于接触点处;当两构件组成滚动兼滑动的高副时,瞬心位于接触点的公法线上,但具体位置还需利用其它方法确定。

2. 三心定理法

此法用于确定不直接以运动副联接的两构件的瞬心。三心定理为:互作平面平行运动的三个构件的三个瞬心必在同一条直线上。

利用速度瞬心可以比较方便地求两构件的角速度之比、构件的角速度及构件上某点的速度。因而速度瞬心法用于机构的速度分析比较直观、简单,而且所求构件与已知构件相隔若干构件时也可直接求得。分析的关键在于:①找到已知运动构件和待求运动构件及其与中介构件之间的三个瞬心;②利用瞬心点为同速点的概念,建立运动关系式,求解未知量。

附带指出,对复杂机构,因其瞬心数目多,用瞬心法分析速度时就不一定简便。也不适宜求机构的加速度。

1.1.5 运动副中的摩擦力

在机械运动过程中,构成低副的两元素间的相对运动是滑动,所以在两元素间将产生滑动摩擦,而构成高副的两元素间的相对运动可以是滚动和滑动,所以,在两元素间可能产生滚动摩擦或滑动摩擦,也可能既存在滚动摩擦又存在滑动摩擦。由于滚动摩擦一般远小于滑动摩擦,所以在对机构进行力分析时多忽略不计,只考虑滑动摩擦。

运动副中的摩擦力 F 根据库仑定律来确定,其大小为

$$F = fN \quad (1.6)$$

式中: f 为运动副两元素间的摩擦系数;

N 为运动副两元素间的法向反力。

由上式可知,当摩擦系数 f 一定时,摩擦力 F 的大小取决于法向反力 N 的大小。而在外载荷 Q 一定时,法向反力 N 的大小又与运动副两元素的几何形状有关。为了计算方便,将运动副元素几何形状对运动副的摩擦力的影响因素计入到摩擦系数中,引入了当量摩擦系数的概念(用 f_v 表示)。运动副常见的几种接触形式的当量摩擦系数为:

(1) 平面接触(图 1.1(a)): $f_v = f$;

(2) 槽面接触(图 1.1(b)): $f_v = f/\sin\theta$;

(3) 圆柱面接触(图 1.1(c)): $f_v = kf$ ($k = 1 \sim \frac{\pi}{2}$, k 的大小取决于两元素接触情况,接触越均匀, k 值越大)。

引入了当量摩擦系数后,不论运动副两元素的几何形状如何,运动副中的滑动摩擦力大小均可用通式 $F = f_v N = f_v Q$ 来计算。当然,由于引入的当量摩擦系数不同,所求得的滑动摩擦力也不同。但必须注意的是,这并非摩擦系数 f 的改变所致,而是由于运动副两元素间的正压力不同的缘故。

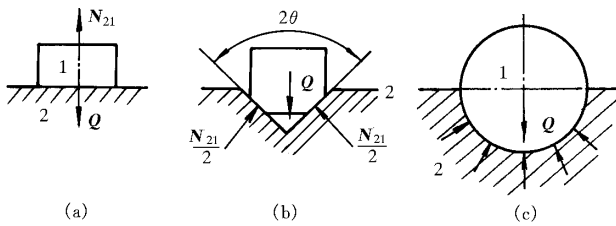


图 1.1 常见运动副的接触形式

为了便于对运动副中的作用力进行分析,通常是将正压力 N 和摩擦力 F 作为一个合力来考虑,该合力称为总反力,用 R 表示。

对于移动副,如图 1.2 所示,总反力 R_{21} 与正压力 N_{21} 之间的夹角 φ (或者 φ_v) 称为摩擦角(或当量摩擦角)。由图可知:

$$\tan \varphi = f \text{ 或 } \tan \varphi_v = f_v \quad (1.7)$$

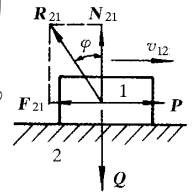


图 1.2

总反力 R_{21} 的作用线方向可根据以下两个条件来确定:

- (1) R_{21} 与正压力 N_{21} 之间的夹角为摩擦角 φ (或当量摩擦角 φ_v);
- (2) R_{21} 与构件 1 相对于构件 2 的相对运动速度 v_{12} 之间的夹角为钝角。

对于转动副,则有有间隙转动副和无间隙转动副之分。有间隙转动副的轴承和轴颈沿轴线方向是线接触,当轴颈等速转动时其接触点为 B 点(图 1.3(a));无间隙转动副的轴颈在受力方向与轴承是面接触(图 1.3(b))。两种转动副的摩擦力分析基本相同,但当量摩擦系数 f_v 不相同,有间隙的转动副 $f_v = f/\sqrt{1+f^2}$,无间隙的转动副 $f_v = kf$ 。

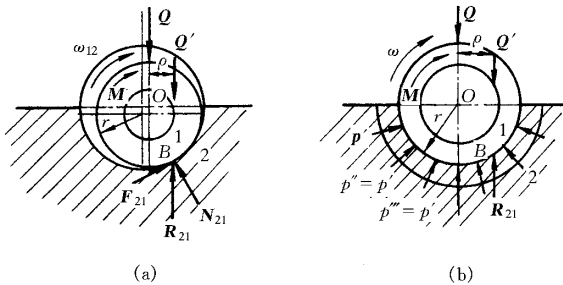


图 1.3 转动副中的摩擦力

如图 1.3(a)(b)所示,当轴颈 1 在驱动力偶矩 M 作用下相对于轴承 2 转动时,轴承 2 作用于轴颈 1 上的摩擦力 $F_{21} = f_v Q$,其对于轴颈轴心 O 所产生的摩擦力矩为

$$M_f = F_{21} r = f_v Q r = R_{21} \rho \quad (1.8)$$

式中 $\rho = f_v r$, r 是轴颈的半径。

对于一个具体的转动副来讲, f_v 及 r 均为定值,因而 ρ 也是定值。若以轴心 O 为圆心, ρ 为半径作圆,此圆称为摩擦圆, ρ 称为摩擦圆半径。而总反力 R_{21} 将与此圆相切。

当作用于轴颈上的外力 Q 和 M 的合力 Q' 的作用线在摩擦圆之外时,轴颈将加速回转;当合力的作用线相切于摩擦圆时,轴颈作等速转动或处于静止状态;当合力的作用线在摩擦圆之内时,轴颈作减速回转或处于静止状态,即运动副自锁。

由于 ρ 值与 Q 和 M 无关,故不论 Q 和 M 如何改变,只要轴颈相对于轴承滑动,总反力 R_{21} 必定始终相切于摩擦圆。至于 R_{21} 相切于摩擦圆的那一边,或者说如何确定 R_{21} 的作用线方向,则可根据以下两点来确定:

(1) 在不考虑摩擦的情况下,由力的平衡条件初步确定总反力的方向;

(2) 总反力 R_{21} 对轴颈中心之矩的方向必与轴颈 1 相对于轴承 2 的相对角速度 ω_{12} 的方向相反。

1.1.6 机械效率与自锁问题

在机械的一个运动循环内,其输出功 W_r 与输入功 W 的比值称为机械效率,它表示机械对能量的利用程度。常用以下三种形式来表示机械效率:

$$\textcircled{1} \text{ 功的形式: } \eta = \frac{W_r}{W} = 1 - \frac{W_f}{W} \quad (1.9)$$

$$\textcircled{2} \text{ 功率的形式: } \eta = \frac{N_r}{N} = 1 - \frac{N_f}{N} \quad (1.10)$$

$$\textcircled{3} \text{ 力矩(力)的形式: } \eta = \frac{M_0}{M} = \frac{F_0}{F} \quad (1.11)$$

式中: W_f 为损耗功;

N_r, N, N_f 分别为输出功率、输入功率和损耗功率的平均值;

M_0 (F_0), M (F) 分别为理想驱动力矩(力)和实际驱动力矩(力)。

机组(或组合机构)的机械效率可按其不同的联接方式计算:

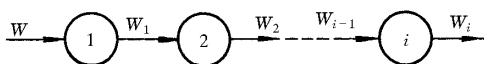


图 1.4 串联机组的效率

(1) 串联机组(图 1.4)

$$\eta = \frac{W}{W_i} = \eta_1 \eta_2 \cdots \eta_i \quad (1.12)$$

(2) 并联机组(图 1.5)

$$\eta = \frac{W_1 + W_2 + \cdots + W_i}{W} = \frac{W_1 \eta_1 + W_2 \eta_2 + \cdots + W_i \eta_i}{W_1 + W_2 \cdots + W_i} \quad (1.13)$$

(3) 混联机组:首先应分清输入功与输出功的传递路线,然后分别按其联接形式参照串、并联公式计算。

机械的自锁是指仅在驱动力矩(或力)的作用下,而引起机械中的摩擦使其不能产生运动的现象。但就机械的结构而言它本应是可以运动的,也即其自由度 $W > 0$ 。此外需要注意的是,所谓机械具有自锁性,只是指该机械在某个方向的驱动力作用下,或者在某一构件为主动件的情况下是自锁的,并非机械在任何情况下都不能运动,否则就不成为机械了。

机械的自锁是有条件的：

(1) 根据机构中运动副的自锁条件来确定。对一自由度机构而言,若机构中某一运动副发生自锁,则该机构也必发生自锁。所以机构的某一运动副的自锁条件也就是机构的自锁条件。运动副的自锁条件为：

移动副——驱动力作用于摩擦角之内,即传动角 $\gamma \leq \varphi$;

转动副——驱动力作用于摩擦圆之内,即驱动力臂长 $l \leq \rho_0$ 。

(2) 根据机械效率来确定。机械自锁时,驱动力作的功总是小于(或等于)由其引起的摩擦力等所作的损耗功,即 $W \leq W_f$ 。由机械效率公式可得机械的自锁条件为：

$$\eta = 1 - \frac{W_f}{W} \leq 0 \quad (1.14)$$

需注意的是,当一个机构中的两个运动副或一个机组中两台机器都进入自锁区时,按上述计算出的效率值会出现大于零的情况。所以,以效率条件来判断机器是否自锁要先剔除这些例外情况。

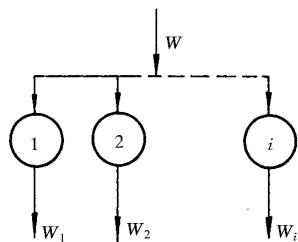


图 1.5 并联机组的效率

1.2 难点分析与例题

1.2.1 机构运动简图的表示方法

绘制机构运动简图的方法及步骤：

(1) 认清机架和主动件,按传动路线逐个分清各从动件,并依次标上数字编号；

(2) 从主动件开始按传动路线逐个认清相邻两构件间的相对运动性质或运动关系,据此确定各运动副的类型,并对各运动副标上字母:A、B、C…；

(3) 把主动件固定在某一位置,以此时的机构位置为作图位置。据此位置定出与构件运动情况有关的各尺寸要素:转动副中心位置、移动副导路方位、平面滚滑副轮廓形状等；

(4) 用一般规定的符号,根据机构的实际尺寸,按比例画出机构运动简图。

其中,关键点也是难点的,是要分析出相邻两构件之间的运动性质或运动关系。这种构件间运动关系的制定依据是相接触的两构件间连接方式(也即运动副)的几何特征和运动特征。此外,还应正确判断出与运动有关的因素与无关的因素。有关的因素必须在图上表示出来不能略去,无关的因素则应全部略去。下面举例说明。

例 1.1 绘制图示偏心圆盘圆滑块机构的运动简图。

解 第一步分析机构。机构中,1 为机架,2 为主动件,3 为从动连杆,4 为从动圆弧形滑块。构件 2 与构件 1 相接触,其连接方式(柱销)的几何特征是圆柱面接触,运动特征是相对转动,转动中心在 A 点,故两者为转动副相连;构件 3 与构件 2 相接触,其连接方式的几何特征亦是圆柱面接触,运动特征也是相对转动,而相对转动的中心显然就在 B 点,故两者也构成转动副关系;同样可知,构件 4 与构件 3 也是转动副相连,转动中心在 C 点;而构件 4 与机架 1

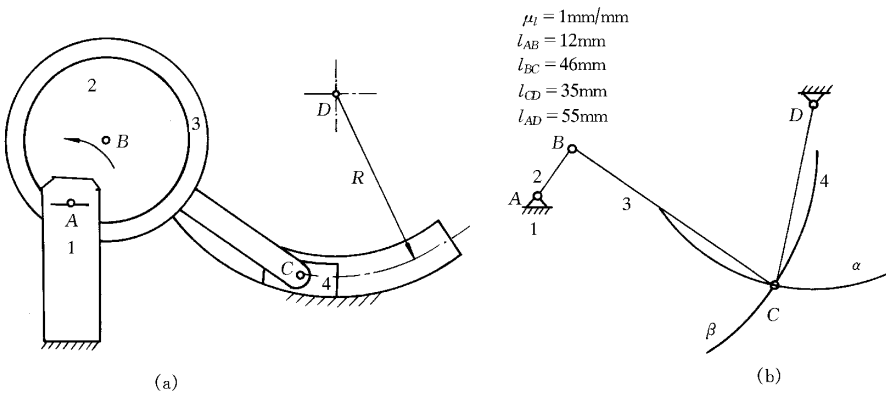


图 1.6 偏心圆盘滑块机构

相接触的几何特征是圆弧面接触，运动特征是沿圆弧形导路转动，其转动中心就是圆弧的中心 D 点，所以，构件 4 与机架 1 也构成转动副关系。

第二步作图。由模型图量出有关尺寸： AB 的距离 $l_{AB} = 12 \text{ mm}$ ， BC 的距离 $l_{BC} = 46 \text{ mm}$ ， AD 的距离 $l_{AD} = 55 \text{ mm}$ ， CD 的距离 $l_{CD} = 35 \text{ mm}$ 。取比例尺 $\mu_l = 1 \text{ mm/mm}$ 。

任取一点为机架转动副 A ，并标出机架 1；由 $l_{AB} = 12 \text{ mm}$ 作出转动副 B ，连接 AB 的直线即构件 2；由 $l_{AD} = 55 \text{ mm}$ 作出转动副 D ，以 D 为圆心， $R = l_{CD} = 35 \text{ mm}$ 画圆弧 α ；以 B 点为圆心， l_{BC} 为半径画圆弧 β ，圆弧 α 与 β 的交点为转动副 C ，连接 BC 得杆 3，连接 CD 得杆 4。见图 1.6(b)。

偏心轮和圆弧形滑块是转动副的特殊形式，初学者往往为其外形所困惑而无法用简图表示之。实际上从上面做题过程可知，只要找出相对转动中心就能方便地画出简图。

例 1.2 在图 1.7 所示的机构运动简图中，试分析尺寸 e 、 h 和 α 。

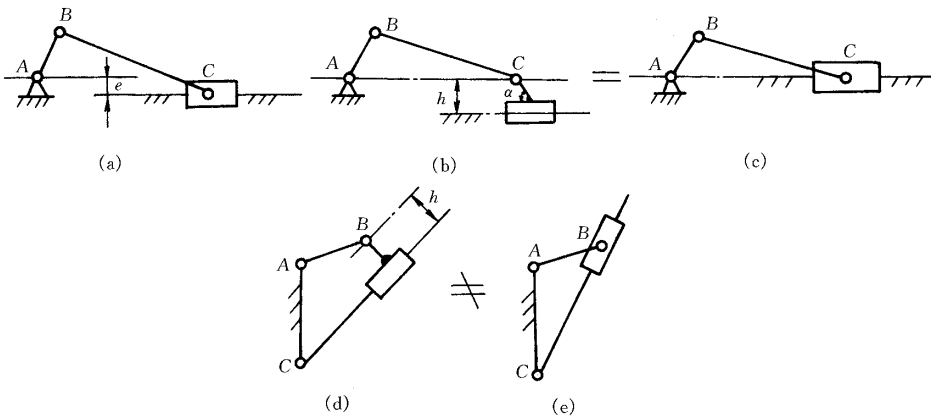


图 1.7 滑块机构

解 (1)图 1.7(a)所示为偏置的曲柄滑块机构。偏心距 e 对机构的运动特性有影响,因而是与运动有关的因素,必须在机构运动简图上表示出来,不能略去。

(2)图 1.7(b)所示也是一曲柄滑块机构。由于 C 点轨迹是直线,且导路方向线通过 A 点,故尺寸 h , 角度 α 是与运动无关的因素,绘简图时应当略去。如图 1.7(c)所示。

(3)图 1.7(d)所示为导杆机构。尺寸 h 直接影响机构的运动特性,故不能略去,不能画成图 1.7(e)所示的样子。

1.2.2 虚约束的分析与判断

平面机构自由度计算中出现了虚约束时,往往是按公式计算的自由度小于机构实际自由度。例如,通过观察可知一机构的自度为 1,可计算结果自由度为 0 或 -1。这时应考虑到机构中某些运动副或构件的约束为虚约束。

但虚约束的判断是个难点,由于情况各异需仔细分析。在平面机构自由度计算中出现的虚约束问题常有以下几种情况:

(1)两构件在两处以上形成运动副,而各运动副所限制的运动又是相互重复的,则只有一个运动副起约束作用,其余为虚约束。

例如:

1 2 两个构件在 A, B 两处形成移动副(也可以是转动副),而两移动副(或两转动副)所限制的运动又都是水平方位,所以 A, B 两移动副(或两转动副)之一为虚约束(图 1.8)。

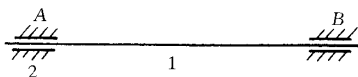


图 1.8 移动副或转动副构成的虚约束

同理 3 4 两个构件在 C, D 两处形成的移动副之一为虚约束(图 1.9)。

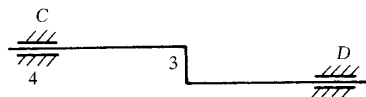


图 1.9 移动副构成的虚约束

但 5 6 两个构件在 E, F 两处形成的移动副均不是虚约束(图 1.10)。

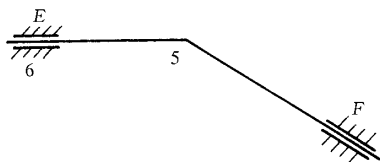


图 1.10 不构成虚约束的移动副

(2)机构结构出现对称时,其对称部分所限制的运动往往是重复的,即出现虚约束。

例如图 1.11 所示的压榨机中 杆 5,6,7 和杆 9,10,11 两部分对称,所以其中一部分对滑块 8 的运动约束为虚约束。

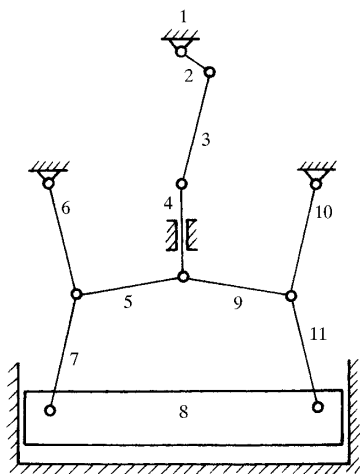


图 1.11 压榨机

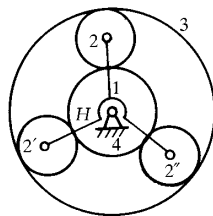


图 1.12 行星轮机构

而在图 1.12 所示的行星轮机构中,齿轮 2' 和 2'' 的运动效果与齿轮 2 相同,所以这两个齿轮所带入的约束为虚约束。

(3) 机构中有两组以上平行四边形结构时,可能出现虚约束。

例如图 1.13 所示压床机构中杆 6,7,8,9,10,11 对压头 12 的运动约束为虚约束。

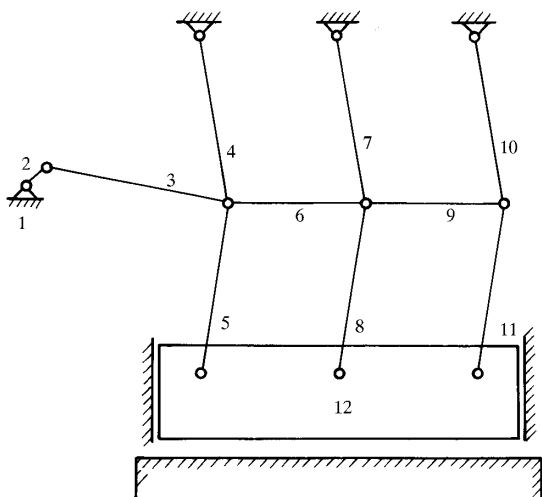


图 1.13 压床