

高等学校教材

机械原理 学习指导

陈晓华 主编

JIXIE YUANLI

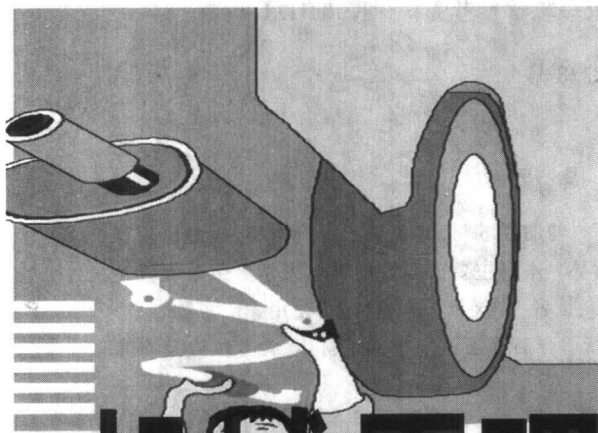
XUEXI ZHIDAO



中国计量出版社



高等学校教材



机械原理学习指导

陈晓华 主编

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械原理学习指导/陈晓华主编. —北京:中国计量出版社,2006.2

高等学校教材

ISBN 7-5026-2280-2

I. 机… II. 陈… III. 机械学—高等学校—教学参考资料 IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 002278 号

内 容 提 要

本书是根据《机械原理》课程教学需要而编写的辅助性教材,共包括三部分内容:机械原理课程学习指导、机械原理模拟试题和机械原理实验指导。本书主要内容依据吉林大学秦荣荣教授主编的《机械原理》,某些例题取自该教材的课后练习,读者可与《机械原理》配合使用。

本书可作为学习《机械原理》课程的辅助教材,适合高等工科院校的本科生、大专生以及自考生参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话(010)64275360

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

北京市密东印刷有限公司印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

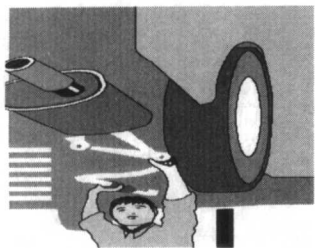
*

787 mm × 1092 mm 16 开本 印张 9.5 字数 201 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷

*

印数 1—3000 定价:18.00 元



前言

FOREWORD

《机械原理》课程是机械专业的重要技术基础课之一,是机械类本科生的必修课。本书是《机械原理》课程的辅助教材,可作为机械类、近机类本、专科生学习本课程的参考书,也可作为自考生学习《机械原理》课程的辅导书。内容编写主要依据吉林大学秦荣荣教授主编的《机械原理》,书中所讲例题有些取自该教材的课后练习,读者可与该教材配合使用。

本书共包括三部分内容:机械原理课程学习指导、机械原理模拟试题及机械原理实验指导。

课程学习指导部分总结归纳了各章的基本内容、学习重点和难点,附以解题示例以及思考题和练习题。机械原理模拟试题共有 12 套,是以往历届机械类(机械原理 A 试卷)、近机类(机械原理 B 试卷)学生的考题,并附有试题参考答案。机械原理实验指导包括 4 个实验项目,介绍所用仪器的原理、实验要求以及实验报告格式。

参加本书第一篇编写的有:吉林大学陈晓华(第一章、第三章、第四章、第六章、第九章),熊健(第五章),吴迪(第七章);长春工程大学杨达毅(第二章、第八章);长春大学孙莉(第十章)等。第二篇试题由吉林大学秦荣荣、崔可维、陈晓华等提供,吴迪、熊健、秦荣荣、陈晓华等提供解答。吉林大学张英芝编写第三篇试验一、二、三,陈晓华编写实验四。

本书由陈晓华主编,吉林省机械原理教学研究会理事长、长春理工大学潘毓学教授主审。秦荣荣教授对本书进行了精心的



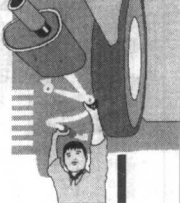
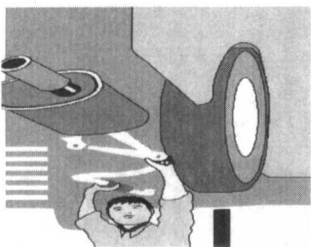
高等学校教材

审阅,提出宝贵意见。吉林大学董景石、王聪慧参与审稿和绘图工作,在此一并感谢。

由于我们的水平有限,疏漏、错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2006年1月



目 录

CONTENTS

第一篇 机械原理课程学习指导

- 第一章 绪论 / 1
- 第二章 平面机构的结构分析 / 3
- 第三章 平面机构的运动分析和力分析 / 8
- 第四章 平面连杆机构及其设计 / 20
- 第五章 凸轮机构及其设计 / 31
- 第六章 齿轮机构及其设计 / 38
- 第七章 轮系及其设计 / 46
- 第八章 间歇机构及其他常用机构 / 54
- 第九章 机器的运转及其速度波动的调节 / 56
- 第十章 机械平衡 / 64

第二篇 机械原理模拟试题

- 模拟试题一(机械原理 A) / 70
- 模拟试题二(机械原理 B) / 73
- 模拟试题三(机械原理 A) / 76
- 模拟试题四(机械原理 B) / 79
- 模拟试题五(机械原理 A) / 82
- 模拟试题六(机械原理 B) / 85
- 模拟试题七(机械原理 A) / 87
- 模拟试题八(机械原理 A) / 90
- 模拟试题九(机械原理 A) / 93
- 模拟试题十(机械原理 B) / 97
- 模拟试题十一(机械原理 A) / 99
- 模拟试题十二(机械原理 B) / 102

第三篇 机械原理实验指导书

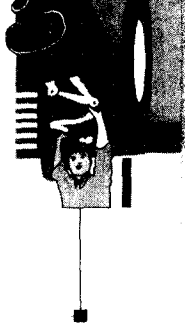
实验一 典型机构认知及机构运动简图测绘 / 126

实验二 渐开线齿廓的范成原理 / 131

实验三 机械平衡 / 134

实验四 凸轮机构的检测与从动件运动规律的拟合 / 139

参考文献 / 145



第一篇

机械原理课程学习指导

第一章

绪 论

内 容

机械原理课程的研究对象为机器与机构。机械是机器与机构的总称,因此机械原理就是研究机器与机构的原理。

机械原理课程的绪论要求大家掌握相关术语的定义和概念。例如,机械、机器、机构、构件和零件以及相互之间的内在联系。

机器具有3个特征:①机器是人为的实物组合体。即不是随意将一些实物体堆砌在一起就叫机器,而是按人的意志设计加工出的一些实物体装配而成。②机器中各实物体之间具有确定的相对运动。即各实物体之间不能乱动或不动。③机器能够代替人做机械功或将其其他能量转化为机械能。例如,汽车代替人步行,电机将电能转化为机械能。

为了便于研究机器,人们把机器分解成具有各自运动特点、能够传递运动或改变运动形式的实物组合体,称之为机构。机构具有机器的①、②特征。

机构还可以进一步分解为构件。构件是运动的最小单元。

构件可以由一个或几个零件刚化联接在一起的。零件是制造的最小单元。

机械原理课程内容可分为3个部分:①机构的结构分析。研究机构可动的条件,机构简图的画法,机构的构成及其组成原理(如高副低代、拆杆组)等。②机构运动学和动力学。研究机构的运动分析、受力分析、速度波动的调节和机械平衡等。③介绍常用机构。讨论研究常用机构满足运动要求所具有的结构特性、设计方法和设计计算等。例如,连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇机构和基本机构的组合应用等。

机械原理课程的特点是各章内容比较分散,内容、重点以及做题方法不尽相同。所以在学时,要掌握各章的基本概念、基本理论和机构分析与设计的基本方法,一定要掌握规范



解题示例

例 1-1-1 车床是机器吗？手表是机器吗？请回答出原因。

解：车床是机器，因为车床代替人做机械功、车削零件。

手表不是机器，而是机构，因为它不做机械功。

复 习 题

思考题

1. 什么叫机械？什么叫机器？什么叫机构？什么叫构件？什么叫零件？
2. 机械原理研究的对象是什么？
3. 机械原理研究哪些内容？



第二章

平面机构的结构分析

内 容

1. 基本内容

本章的基本内容有:①机构的术语和基本概念。如:构件、运动副、运动副类型、运动链等。②机构运动简图及其画法。③平面机构自由度的计算、机构具有确定运动的条件。④高副低代和平面机构的结构分析及其组成原理。

2. 学习重点

(1) 机构的组成

机构是由构件用运动副连接构成的。运动副是两构件直接接触所形成的活动联接。构成运动副的接触表面的几何要素称为运动副元素。运动副按构件所在的运动平面分为平面运动副和空间运动副。平面运动副分为平面低副和平面高副。低副是由两构件用面接触构成的。平面低副有回转副和移动副两种形式,具有一个自由度、两个约束。高副是两构件用点或线接触构成的。平面高副的接触形式有凸轮副和齿轮副等。

构件用运动副连接构成的系统称为运动链。运动链分为开式链和闭式链两种形式。开式链是指在运动链中至少有一个构件只有一个运动副,例如机械手。闭式链是指在运动链中每个构件至少有两个运动副,大多数机械加工机床的运动链都是闭式链。

具有机架、主动件和从动件系统的运动链称之为机构。主动件(也称为原动件)是驱动力所作用的构件,主动件的运动是已知的。从动件是指机构中除原动件之外的所有活动构件。通常我们重点研究的是做运动输出的从动件。机架的自由度为零,是研究所有活动构件运动的绝对坐标。机架具有惟一性。

(2) 机构运动简图

机构运动简图是用最简单的线条表示构件,用运动副符号表示两构件的活动连接,可用来进行机构的结构分析、运动分析或受力分析等。机构简图是机械原理研究机构时所用的表述工具,是学习本课程从头至尾都要用到的。会画、会看机构运动简图是学习机械原理的最基本的要求。

分析机构的运动通常从原动件入手,按运动传动路线,分析两构件之间的相对运动构成的运动副形式、运动副的位置。画机构运动简图时,通常是从原动件开始,按构件之间的运



动副连接形式,画出运动副符号和连接的构件。绘制机构运动简图的难点是如何将复杂的构件用最简单的线条表示。

绘制机构运动简图的要求:

- ①机构运动简图中的构件数要同真实机构一样;
- ②机构运动简图中的运动副数目和形式要同真实机构一样;
- ③机构运动简图中的运动学尺寸要同真实机构成比例。运动学尺寸是指对机构运动参数(如:位移、速度、加速度)有影响的尺寸,例如:两回转副之间的距离,移动副的导路位置,高副的形状等。

(3) 机构自由度计算

机构自由度计算公式是判定机构是否能动、是否具有确定运动所用的理论判别依据。当机构的自由度 $F \leq 0$, 机构不能动; $F > 0$, 机构能动; F 等于原动件数, 机构具有确定的运动; F 小于原动件数, 机构将在薄弱处破坏; F 大于原动件数, 机构将乱动。

(4) 机构的组成原理

平面机构可分解成 I 级机构和若干个杆组组成。I 级机构由原动件与机架组成。杆组是由构件用运动副连接构成的自由度为零、且不可再拆的运动链。平面机构中若有高副, 则利用高副低代的方法, 转换成低副机构再进行拆杆组。拆杆组一般从离原动件最远的构件开始拆起, 拆杆组时带走运动副。按杆组条件, 先试拆 II 级杆组, 若不行再试拆 III 级杆组, 直到最后剩下完整的 I 级机构。机构的级别以杆组的最高级为准。

研究机构组成原理的意义在于: 了解机构的结构形式, 明确怎样添加或去除构件, 可改变机构的运动形式而不影响机构的自由度。在分析机构时, 可对杆组编写通用的运动分析或力分析的子程序。若对任意机构进行分析, 只要将构件尺寸与相关条件输入即可进行。这样做可减少设计时间, 提高设计分析的效率。

3. 学习难点

本章学习难点是机构自由度计算时的 3 个注意事项。

(1) 复合铰链

复合铰链一定是 3 个或 3 个以上的构件铰接在一处, 铰接处的回转副数目为构件数减 1。铰接处若有移动副时, 移动副不算复合铰链的回转副数。

(2) 局部自由度

局部自由度对于平面机构来说就一种, 即凸轮机构的滚子转动对从动件的输出没有影响, 为局部自由度。

(3) 虚约束

一般来讲, 有关虚约束的识别是需要论证的。进行机构自由度计算时, 要先去掉虚约束, 再进行计算。为便于识别, 我们将虚约束分为 3 种类型。

① 具有特定尺寸的虚约束

在特定几何尺寸的约束下, 形成构件的轨迹重合, 如平行机构等。若特定的尺寸一旦被破坏, 虚约束就成为真约束。

② 两个构件只能构成一个运动副, 其余的为虚约束。



③对运动输入和输出没有影响的对称结构。例如,行星轮系中对称布置的相同尺寸的行星轮,计算自由度时,只计入一个,其余的为虚约束。

解题示例

例 1-2-1 试绘制如图 1-2-1(a)所示牛头刨床横向进给机构的运动简图。

解:(1)机构结构与原理分析

图示牛头刨床的传动采用了曲柄摇杆机构。该机构工作时,齿轮 1 带动齿轮 2 并与齿轮 2 同轴的销盘(相当于曲柄)一起转动,连杆 4 使带动有棘爪的摇杆 5 绕 D 点摆动,与此同时棘爪推动棘轮 6 旋转,棘轮 6 与丝杠 7 固联且同轴做间歇转动,丝杠 7 带动螺母,螺母与工作台固联,从而完成工作台的横向进给运动。

构件 3 与机架在 A 点、构件 3 与构件 4 在 B 点、构件 4 与构件 5 在 C 点、构件 5 与机架在 D 点均构成转动副。

(2)绘制机构运动简图

测定机构的几何尺寸,选取构件长度比例尺 μ_l (m/mm)。选定构件 3 的某一位置,如图 1-2-1(a)牛头刨床横向进给机构,作为绘制简图的任意位置,从主动齿轮 1 开始依次画出整个进给机构的机构运动简图,如图 1-2-1(b)。

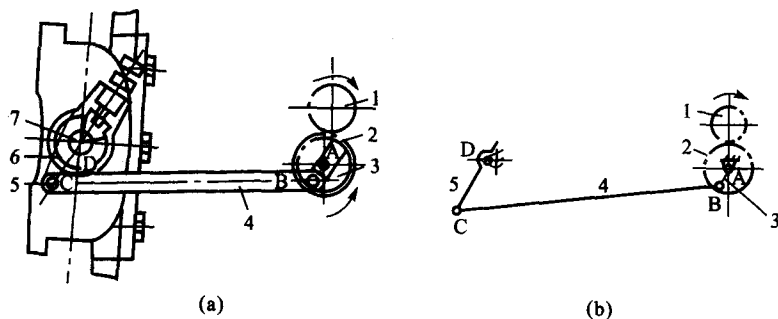


图 1-2-1

例 1-2-2 计算图 1-2-2 所示惯性筛机构的自由度,若有局部自由度、复合铰链和虚约束请指出,并判断机构是否具有确定的运动。

解:分析机构铰链点 C 处为复合铰链,移动副 E 或 E' 有一个为虚约束,滚子 F 处存在局部自由度。

计算结果

$$n=7, P_L=9, P_H=1$$

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 7-2 \times 9-1=2$$

因为,此机构具有 2 个原动件,其原动件数目与机构具有的自由度数目相同,所以该机

构具有确定的运动。

例 1-2-3 如图 1-2-3 (a) 所示的机构。请在该机构中分别以 1 或 4 为原动件对所示机构进行拆杆组, 并确定机构的级别。

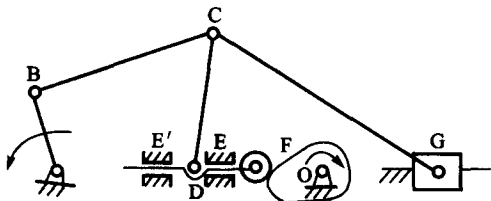


图 1-2-2

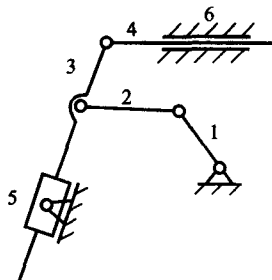
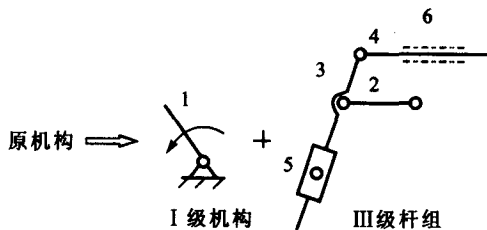
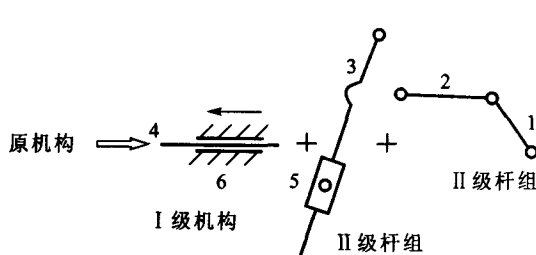


图 1-2-3

解: 分析以 1 构件为原动件, 拆法如图 1-2-4(a) 所示, 该机构为 III 级机构。以 4 构件为原动件, 拆法如图 1-2-4(b) 所示, 该机构为 II 级机构。



(a) 以 1 构件为原动件



(b) 以 4 构件为原动件

图 1-2-4

复 习 题

一、思考题

1. 什么是零件? 什么是构件? 两者的区别和联系是什么?
2. 什么是运动副? 什么是运动副元素? 运动副如何分类?
3. 什么是自由度? 什么是约束? 对于不同类型的运动副构件, 其相对运动具有几个自由度和产生几个约束?
4. 什么是运动链? 运动链有哪几个类型?
5. 什么是机构的运动简图? 什么是机构示意图? 两者有何区别?



6. 机构的能动条件是什么？具有确定运动的条件是什么？

7. 什么是复合铰链？什么是局部自由度？什么是虚约束？计算机构的自由度时，对复合铰链、局部自由度、虚约束应如何处理？

8. 高副低代的意义是什么？高副低代应满足的条件是什么？

9. 什么是机构的杆组？它具有什么特性？

二、练习题

1. 绘制图 1-2-5 所示机构的运动简图，计算其自由度，并判断机构是否具有确定的运动（图中：齿轮 1 与偏心轮 1' 固联在一起，滚子 6 与齿轮 5 上开的凸轮凹槽构成凸轮副）。

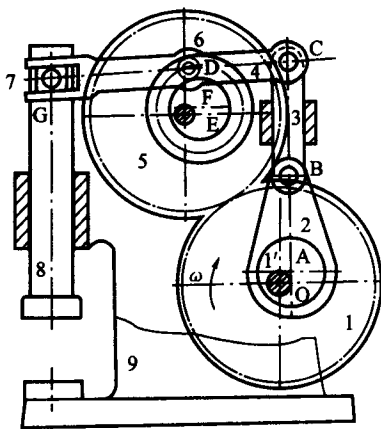
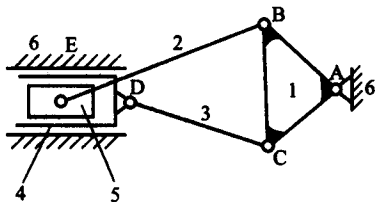
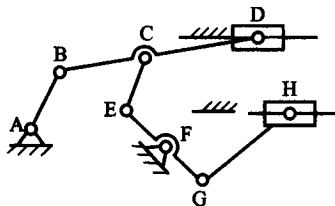


图 1-2-5

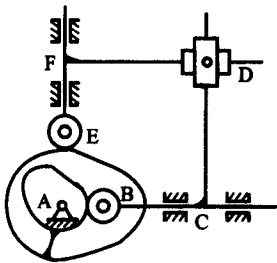
2. 指出图 1-2-6 所示各机构中是否含有复合铰链、虚约束、局部自由度。计算机构的自由度，并判断此机构是否具有确定的运动。



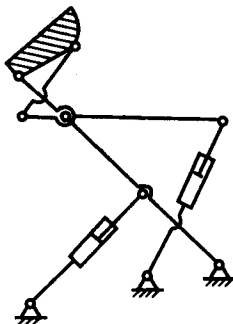
(a)



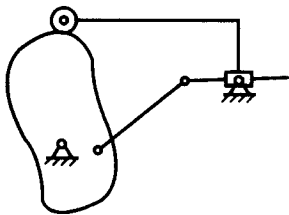
(b)



(c)



(d)



(e)

图 1-2-6 机构简图

第三章

平面机构的运动分析和力分析

内 容

1. 基本内容

本章的基本内容分为:

(1) 平面机构的运动分析

运动分析目的是求解机构的运动参数,即求解构件上某点的位移 s 、速度 v 和加速度 a ;或者是求解某构件的角位移 φ 、角速度 ω 和角加速度 α 。

运动分析求解方法有图解法、解析法和实验法。图解法又分为速度瞬心法和矢量方程图解法。解析法是用数学计算法求解运动参数,其方法有矢量法、复数矢量法和矩阵法等。实验法是利用传感器测量机器构件的真实运动,传感器有位移传感器、速度传感器和加速度传感器等。

(2) 平面机构的力分析

力分析目的是求解构件的内力和外力之间的关系。内力所指为运动副反力。外力包括驱动力、生产阻力、惯性力等,即除运动副反力之外的所有力。

力分析的方法有

- ①静力分析。即不考虑摩擦力和惯性力的机构力分析。
- ②动态静力分析。即通常用于不考虑摩擦力,考虑惯性力的机构力分析。该方法也可用于考虑摩擦力和惯性力的机构力分析。
- ③摩擦力分析。即考虑摩擦力,不考虑惯性力的机构力分析。

机械原理课程重点研究后 2 种力分析。

(3) 机械效率及自锁概念

机械效率的计算在物理和力学课程中通常是用功或功率的形式表达的。机械原理主要讲述的是用力或力矩(M)的形式表示功率,即

$$\eta = \frac{P_0}{P} = \frac{M_{p0}}{M_p} = \frac{Q}{Q_0} = \frac{M_Q}{M_{Q0}}$$

式中, P_0, P ——分别表示理想驱动力和实际驱动力;

Q_0, Q ——分别表示理想生产阻力和实际生产阻力。



求解理想力,只要将方程中的摩擦角或摩擦系数代入零即可求得。代公式时一定要代入力分析中所求的未知量公式。求效率时,首先要判定所求量值是驱动力 P ,还是生产阻力 Q ,再选表达式中的对应公式。

机械的自锁概念是指无论驱动力如何增大,也无法使其作用的机械有运动输出的现象。机械自锁现象用效率公式表示为 $\eta < 0$ 。用力作用线判断运动副的自锁情况:在平面内,移动副或高副驱动力的作用线与总反力共线(临界状态)或作用在摩擦角内;回转副驱动力的作用线与摩擦圆相切(临界状态)或相割。

2. 学习重点

(1) 平面机构的运动分析

① 速度瞬心法

学习速度瞬心法要掌握:

② 速度瞬心的定义。速度瞬心是指做相对平行平面运动的两构件的相对速度为零,绝对速度相等的瞬时重合点,也称之为瞬时回转中心,简称瞬心。

③ 机构中瞬心的数目 $K = N(N-1)/2$, N 代表构件总数。公式是根据排列组合方法求出的。由 N 个构件组成的机构,每两个构件有一个瞬心,不考虑构件顺序,即 $P_{ij} = P_{ji}$ 。

④ 瞬心的找法分为两种,直接观察法和三心定理。

直接观察法用于找出两构件用运动副相联的瞬心。

回转副的瞬心在其相对回转中心处。

移动副的瞬心在垂直于导路的无穷远处。注意,移动副的瞬心位置可在垂直导路方向上平行移动。

高副的瞬心分为两种:两构件做纯滚动时,其高副接触点即为瞬心;两构件的高副接触点有相对速度时,瞬心在接触点的法线上。

三心定理用于寻找两构件不直接相联的瞬心。三心定理为3个互作平行平面运动的构件必有3个瞬心在一条直线上。找未知瞬心时,采用多边形法,目标明确、概念清晰。多边形法是指用数字表示构件,用两数字间的连线表示瞬心。已知瞬心和未知瞬心要能区分开。例如,已知瞬心画实线,未知瞬心画虚线。一个三角形的3条边就表示3个瞬心在一条直线上。未知瞬心一定要在两个三角形的公共边上,且其他边代表的瞬心都是已知的才能求出。

⑤ 瞬心的应用。一是求构件上某点的速度;二是求传动比,即两构件的角速度之比。

② 矢量方程图解法

又称做相对运动图解法。矢量方程图解法分为以下两种类型。

③ 同一构件的两点间的速度和加速度的求解。这种类型常用于求解同一构件上两个回转副之间的速度、加速度关系。它所应用的理论基础是理论力学中刚体平面运动理论,即动点的绝对运动等于基点的平动与动点绕基点转动的矢量合成。书写矢量方程时,每个矢量的角标的标注方法与力学中刚体平面运动理论的写法基本相同。

④ 两构件瞬时重合点间的速度和加速度的求解。这种类型用于求解两构件构成移动副或高副接触时的运动分析。它所应用的理论基础是理论力学中点的复合运动理论,即动点的绝对运动等于动系牵连点的运动与动点相对于动系的相对运动的矢量合成。书写矢量方



程时,每个矢量的角标一定要写清楚是哪个构件上的哪个点。

同一构件两点间加速度运动分析无哥氏加速度。两构件重合点间加速度分析有哥氏加速度。当构件 1、2 组成移动副或高副时,则两构件的重合点 B 处的哥氏加速度为(取 B_2 为动点, B_1 为动系的牵连点)

$$a_{B_2B_1}^k = 2\omega_1 \cdot v_{B_2B_1}$$

若牵连角速度 ω_1 或动点相对于动系的相对速度 $v_{B_2B_1}$ 有一项为零,则哥氏加速度不存在。

平面机构哥氏加速度方向为相对速度 $v_{B_2B_1}$ 绕牵连角速度 ω_1 方向转 90° 。

③影像原理

若已知同一构件上 2 点的速度(或加速度),可利用影像原理求该构件上的第 3 点的速度(或加速度)。方法是在机构的速度(或加速度)向量图中做与机构图相似的三角形,且角标字母绕向与机构图中角标字母绕向相同。

(2)平面机构考虑摩擦时的受力分析

①运动副总反力方向的确定

④移动副和高副总反力 R_{12} 表示 1 构件给 2 构件的总反力,且方向与 v_{21} 成 $90^\circ + \varphi$ 角。 φ 为摩擦角, $90^\circ + \varphi$ 角一定是矢量 R_{12} 与 v_{21} 箭头指向间夹角。

④回转副总反力 R_{12} 与摩擦圆相切,且方向为 R_{12} 对回转中心取矩的方向,与 ω_{21} 反向。

总之,1 构件给 2 构件的总反力是阻止 2 构件相对于 1 构件运动的。

3. 学习难点

(1)平面机构运动分析的难点

平面机构运动分析的难点是利用矢量方程图解法对机构进行综合运动分析的过程。首先,要找到切入点,判定求解类型是属于同一构件两点间问题,还是两构件重合点问题,再根据题意给出的已知条件,寻找在列速度矢量方程(或加速度矢量方程)求解时,方程中只有 2 个未知量的条件。将求解路线确定正确,再按运动分析步骤,一步一步推导才能求出正确解。不管求什么,一定要先进行速度分析,再作加速度分析。

机构运动分析步骤:

①列速度或加速度矢量方程。列矢量方程时要把已知量放前面,未知量放后面,以便于画矢量图求解未知量。在求解两构件瞬时重合点间的速度和加速度时,列矢量方程的关键是动点与动系的选择。考虑到利用矢量多边形求解方便,机械原理常常是取要求的量作为动点,已知量作为动系的牵连点。书写相对运动量的角标时,一定要动点在前、动系在后。两构件瞬时重合点方程式与理论力学书写方法不同,先写构件上的点(用大写英文字母表示),后写构件号(用数字表示)。

②画矢量多边形求解未知量。对于一个机构只能画一个速度矢量多边形,一个加速度矢量多边形,以便于在求解同一构件运动时应用影像原理,提高求解精度。矢量多边形是利用矢量加减法原则画出的。绝对值都是由速度图中极点 P 或加速度图中加速度极点 P' 引出,相对量值不过极点。极点代表机构中瞬时绝对速度或绝对加速度为零的点,同时也代表机架上的点。