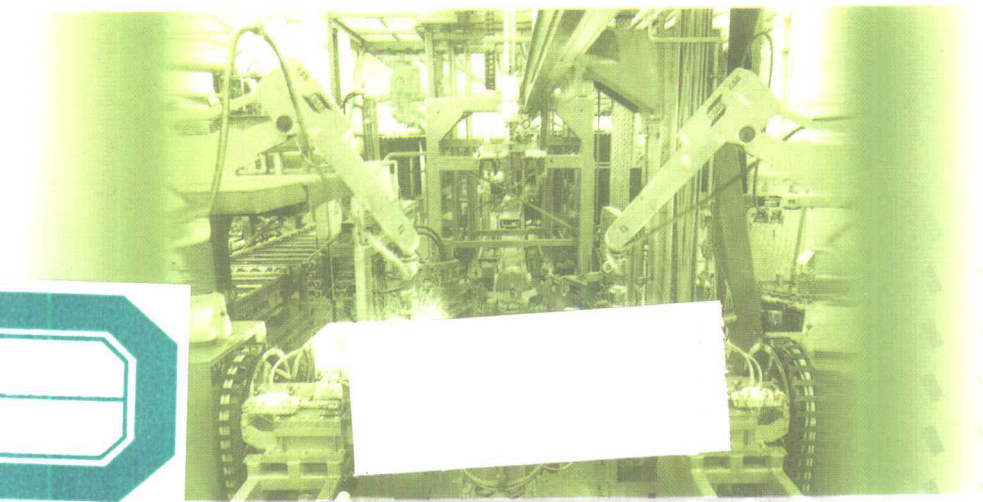


高等学校教材

机械原理学习指南

(第四版)

陈作模 张永红 苏 华 编



高等教育出版社

高等学校教材

机械原理学习指南

(第四版)

陈作模 张永红 苏 华 编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械原理学习指南/陈作模、张永红、苏华编.—4版.

—北京:高等教育出版社,2001.7

高等学校教材

ISBN 7-04-009353-7

I.机... II.①陈...②张...③苏... III.机构学—
高等学校—自学参考资料 IV.TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 07706 号

责任编辑 马盛明 封面设计 李卫青 责任绘图 李维平
版式设计 马静如 责任校对 马桂兰 责任印制 张小强

机械原理学习指南(第四版)

陈作模 张永红 苏华 编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号 邮政编码 100009

电 话 010-64054588 传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京机工印刷厂

版 次 1987 年 2 月第 1 版

开 本 850×1168 1/32

2001 年 5 月第 4 版

印 张 4.375

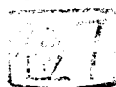
印 次 2001 年 5 月第 1 次印刷

字 数 100 000

定 价 5.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究



内 容 简 介

本书是为配合学习孙桓、陈作模主编《机械原理》(第六版)而编写的。

本书对各章内容的学习要求、重点难点、学习方法和注意事项作了简要说明,并对一些较为典型的例题和问题进行了较为详细的分析求解,对课程中某些重要问题作了适当延伸补充。在编写中注意了内容的启发性、科学性和趣味性。

本书可作为高等工业学校工科机械类专业学生学习机械原理课程的辅助教材,也可供机械工程技术人员和自学机械原理课程的人员参考,对学生考研和青年教师备课也有帮助。

前 言

机械原理课程是高等工业学校机械类专业普遍开设的一门重要的技术基础课程。机械工业是一个国家,尤其是一个大国必不可少的基础工业。信息业的发展只能给机械工业锦上添花,如虎添翼,而不可能取代机械工业。所以,努力学好本课程,对机械类高级工程技术人员来说是十分必要的。为了培养具有工程实践能力的、具有开拓精神的创造性人才,孙桓、陈作模主编《机械原理》(第六版)作为高等教育“九五”国家级重点教材较前几版教材有较大变化,与之配套的《机械原理学习指南》一书也作了相应的修订。

本书删去了前版中对本课程学习方法所作的一般性指导一节,增强了对各章学习内容的具体指导;对各章内容的学习要求、重点难点、学习方法和注意事项都作了简要说明;结合各章的主要内容选取了一些较为典型的例题及问题进行了分析求解;还针对学生在考试、作业、答疑中较常出错的部分,作了较为详细具体的解说;对课程中的某些重要问题作了适当的延伸和补充;各章都列出了复习思考题,并在全书末列出了学习效果的自我检测题,以及部分复习思考题和自我检测题的答案。

在本书的编写中,我们特别注意理论与实践的结合,注重培养学生分析问题和解决问题的能力,关注内容的启发性、科学性和趣味性,使学生能从中获得较大的教益和有助于工程实践能力的培养,以期对读者学好本课程有更多的帮助。

本书可作为机械类专业(不论是普通高校,还是函授大学、电视大学、普通高等专科学校、高等职业技术学院或职工大学)等学生学习机械原理课程的辅助教材,也可供近机类、非机类各专业的

学生及自学者在学习机械原理课程时参考。本书对学生考研、青年教师备课也有一定的帮助。

编者

2000 年

目 录

一、关于机械原理课程的说明	1
二、各章内容学习方法指导	3
(一) 绪论	3
(二) 机构的结构分析	4
(三) 平面机构的运动分析	14
(四) 平面机构的力分析	27
(五) 机械的效率和自锁	36
(六) 机械的平衡	41
(七) 机械的运转及其速度波动的调节	48
(八) 平面连杆机构及其设计	58
(九) 凸轮机构及其设计	72
(十) 齿轮机构及其设计	83
(十一) 齿轮系及其设计	96
(十二) 其他常用机构	106
(十三) 工业机器人机构及其设计	112
(十四) 机械传动系统的方案设计	116
三、学习效果的自我检测	119
附：部分复习思考题和自我检测题的答案	130

一、关于机械原理课程的说明

机械原理课程是研究机械基础理论的一门学科,是高等工业院校机械类各专业普遍开设的一门主干技术基础课程,在培养具有创造性设计新机械能力人才所需的知识结构中占有核心地位作用。其任务是使学生掌握机构学和机器动力学的基本理论、基本知识和基本技能,学会各种常用基本机构的分析和综合方法,并初步具有按照机械的使用要求拟定机械传动系统方案的能力。本课程在培养高级技术人才的全局中,不仅为学生学习相关技术基础和专业课程起到承前启后的作用,而且为今后从事机械设计和研究工作起到增强适应能力和开发创新能力的作用。

本课程研究的内容可以概括分为两个方面:第一,介绍对已有机械进行结构分析、运动分析和动力分析的方法;第二,探索根据运动和动力性能方面的要求,设计新机械的途径和方法。此处应当指出,在本课程中对机械设计的研究,只限于根据运动和动力性能方面的要求,对机构各部分的运动尺度(直接影响到机构运动的尺度)进行综合,而不涉及各零件的强度计算、材料选择、零件的结构形状和工艺性等问题。它所完成的只是机械设计总过程中的第一步——传动方案(即机构运动简图)的设计。因此,为了强调这一特点,在许多文献中常用“综合”两字来代替“设计”。故本课程研究的内容可以概括为机构的分析和机构的综合两个方面。

本课程要用到许多先修课程中的知识,尤其是理论力学中的关于约束及约束反力、力的简化与平衡、摩擦、相对运动原理、动能定理、惯性力、转动惯量、达朗伯尔原理及虚位移原理等方面的知识。但本课程的内容不是先修课中知识的简单重复或堆砌,而是要引导学生如何应用所学得的知识去解决工程实际中所遇到的问

题,本课程具有很强的工程实践性。

本课程并不研究某种具体的机械,而是着重研究一般机械的共性问题,即机构的分析与综合的基本理论和基本方法,这些基本理论和方法是紧密为工程实践服务的。所以在对本课程的学习过程中,一方面要注意这些理论和方法在理论上建立和推演的严密性和逻辑性;另一方面更要注意这些理论和方法如何在工程实践中应用。此外,在学习本课程的过程中,应随时留意在日常生活和生产中所遇到的各种机械,以丰富自己的感性认识;并用所得的理论和方法去认识分析这些机械,以加深理解,使得理论和实践相互促进。

在本课程中要用到许多名词、符号、公式、标准和尺度参数等等。对名词应正确理解其含义,对公式则应着重于应用,一般不求强记。为了简化对机械的研究,在本课程中采用了许多为机械工程所常用的简化方法,如倒置、反转、转化、当量、等效、代换等等;除此之外,在机构的分析和综合中,除了运用大家都较为习惯的解析法外,还介绍了图解法、实验法、试凑法等。前者可利用计算机获得一系列的精确解,而后者则比较直观,易于掌握,其解的精度一般已能满足工程问题的需要,而且我们还常常要利用它来为解析法提供初值,并用它来检验计算机所获解的真伪性。

在对本课程的学习过程中,要逐步树立起工程观点。实际工程问题都是涉及多方面因素的问题,其求解可采用多种方法,其解一般也不是唯一的。这就需要设计者具有分析、判断、决策的能力,要养成综合分析、全面考虑问题的习惯和科学严谨、一丝不苟的工作作风。

二、各章内容学习方法指导

机械原理教材共计十四章,现将各章的学习要求、重点、难点及学习方法等介绍如下。

(一) 绪 论

1. 学习要求

1) 明确本课程研究的对象和内容,及其在培养机械类高级工程技术人才全局中的地位、任务和作用。

2) 对机械原理学科的发展现状有所了解。

2. 学习重点及注意事项

本章学习的重点是“本课程研究的对象及内容”。本章介绍了机器、机构、机械等名词,并通过实例说明各种机器的主要组成部分是各种机构,从而明确了机构是本课程研究的主要对象。在对本章的学习中,要把注意力集中在了解本课程研究的对象及内容上。当然,由于此时尚未具体学习这些内容,故只能是一个概括的了解。

此外,对本课程的性质和特点也应有所了解,以便采取适当的方法把本课程学好。要学好本课程,首先必须对机械在一个国家中的重要作用有明确的认识,机械现在是、将来仍是人类利用和改造自然界的直接执行工具,没有机械的支持,一切现代工程(宇航工程、深海工程、生物工程、通信工程、跨江大桥、过海隧道、摩天大楼、……)都将无法实现。

了解机械原理学科发展现状和趋势,既有助于对机械原理课程的深入学习,也有助于让我们深信机械工业将永不停歇地日新

月异地迅猛发展。

3. 复习思考题

- 1) 何谓机构? 何谓机器? 何谓机械?
- 2) 本课程研究的内容主要包括哪几个方面的问题?
- 3) 何谓机构分析及机构综合? 它们研究哪些主要内容?
- 4) 为什么要学习本课程? 通过对本课程的概括了解, 为了学好本课程, 你认为在学习过程中应注意哪些问题?
- 5) 试设想一个国家没有机械工业将会成为什么样子?

(二) 机构的结构分析

1. 学习要求

- 1) 搞清构件、运动副、约束、自由度及运动链等重要概念。
- 2) 能绘制比较简单的机械的机构运动简图。
- 3) 能正确计算平面机构的自由度并能判断其是否具有确定的运动; 对空间机构自由度的计算有所了解。
- 4) 对虚约束对机构工作性能的影响及机构结构合理设计问题的重要性有所认识。
- 5) 对平面机构的组成原理有所了解。

2. 学习的重点及难点

本章的重点是构件、运动副、运动链等的概念, 机构运动简图的绘制, 机构具有确定运动的条件及机构自由度的计算。本章的难点是机构中虚约束的判定问题。至于平面机构中的高副低代则属于拓宽知识面性质的内容。

3. 学习方法指导

- 1) 首先要把构件、运动副、运动链、机构及机构具有确定运动的条件等概念搞清楚。
- 2) 由于机构的运动分析和动力分析都是就机构运动简图来进行的, 而且机械设计之初也首先是设计机械的机构运动简图, 所

以对机构运动简图的绘制必须十分重视,能正确阅读和绘制机构运动简图是工程技术人员必须具备的基本技能。当然,由于实际机械的结构状况及构件形状一般都比较复杂,所以如何用机构运动简图把它表示出来,对于初学者可能有一定的难度。但只要沿着运动传递路线细心观察,把运动在构件间的传递情况,构件数的多少,各构件间组成了什么样的运动副,以及运动副所在的位置搞清楚后,就不难将其机构运动简图正确地绘制出来。通过多作练习,就一定能逐步具备绘制机构运动简图的能力。

3) 机构中虚约束的判定是本章的一个难点。要正确判定机构中的虚约束,首先要搞清楚什么是虚约束这一概念。所谓虚约束是指对机构的运动起重复约束作用的约束,即机构中的一些运动副所带入的约束与另一些运动副所带入的约束相重复。在计算机构的自由度时应将虚约束除去。

但要注意,机构中的虚约束都是在一些特定的条件下出现的,如果这些条件不能满足,则原认为是虚约束的约束就将成为实际有效的约束,而影响到机构运动的可能性或灵活性。而为了满足这些特定的条件,就要求有较高的加工精度和装配精度,而这就意味着有较高的制造成本。一般说,机构的虚约束数越多,机构在运动中被卡住的可能性也就越大,要求有较高精度的尺度参数也就越多,制造成本也就越高,故虚约束数的多少也是机构性能的一个重要指标。

那末在机械设计中为什么要设置虚约束呢?这主要是为了改善机构的受力情况(参看教材图 2-23),增加机构的刚度(参看教材题 2-13c 图)或使机构能顺利通过转折点(参看教材图 8-7)等。

在仪表机构中,机构运动的灵活性是十分重要的,故要尽可能避免在机构中出现虚约束(参看教材图 2-28、题 2-19 图),另外在一些刚性较差的地方,如布置在飞机机翼上的一些机构,在受力时易发生较大的变形,约束成为虚约束必须满足的几何条件易遭

到破坏,故这种情况下也应力求避免虚约束。但要注意,正如教材中所指出的那样,当把平面机构(3族机构)按平面机构来计算其自由度的时候,往往从表面看似乎没有虚约束,实际上绝大多数情况下都存在族别虚约束,即实际上存在虚约束。只有把机构按空间一般机构来看不存在虚约束时才真正没有虚约束。为了减少虚约束数,在工程实际中常用球面副、球销副代替转动副,用圆柱副代替移动副或转动副,用鼓形齿代替直齿等。

4) 关于复合铰链的确定一般不难掌握,但在判断是否为复合铰链时要细心。如下两种情况易发生误解。

其一,复合铰链是两个以上的构件在同一处以转动副相联接的情形。不应把若干个构件汇交在一起就认为是复合铰链。如图 2-1 所示,在 A 处虽有四个构件汇交,但构件 1、2 和 3、4 之间组成的是移动副,只有 2、3 之间才组成转动副,故并非复合铰链。

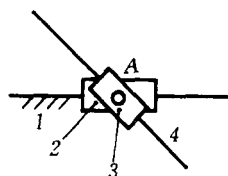


图 2-1

其二,有齿轮、机架参与的联接是否为复合铰链,常易发生混淆,如图 2-2a,在 A 处因有齿轮 1、3 和机架 4 参与联接,故为复合铰链,而铰链 B 则不是。在图 b 中,因 B、C、D 处各有三个构件参与联接,故均为复合铰链。而在 A 处,因齿轮 2 和构件 AB 固联在一起,只有两个构件参与联接,故非复合铰链。

5) 关于齿轮副的约束,存在如下两种情况。

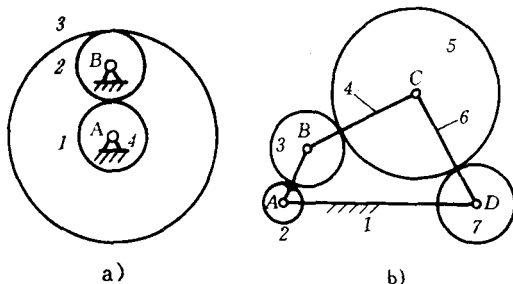


图 2-2

其一,一般情况下两齿轮的中心距受到约束,轮齿两侧齿廓只有一侧接触,另一侧存在间隙,如图 2-3a 所示,故只提供一个约束。

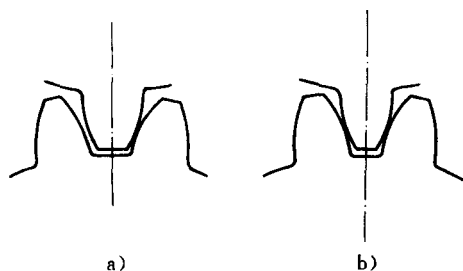


图 2-3

其二,当两齿轮的中心可以彼此靠近,直至轮齿两侧齿廓均接触为止时,如图 b 所示。这时因轮齿两侧接触点处的法线方向并不彼此重合,故其提供两个约束,在解教材题 2-13 时,就应分清齿轮副约束的上述两种情况。

6) 根据平面机构的组成原理知任何平面机构都可以由机架、原动件和若干个基本杆组组成,因此在对机构进行运动分析或动力分析时,可就原动件和基本杆组来进行,对于相同的基本杆组可采用相同的方法(可编成子程序调用),由于基本杆组的类型不多,这就给运动分析和动力分析提供了很大的方便。

在将机构分解为基本杆组时要注意,首先应将机构中的虚约束和局部自由度除去,如图 2-4 所示的精压机机构,由于杆组 $IHJD$ 与 $GEFD$ 为重复部分,带来一个虚约束,应将两者之一去掉,再进行拆杆组分析。在拆分基本杆组时,应从远离原动件的地方开始拆分,先试按 II 级组拆分,若不行再依次按 III 级组、IV 级组……拆分。如图 2-5 所示机构为教材图 8-65d 所示的斯蒂芬森 II 型机构,当以 EFG 杆为原动件时,机构不可能拆出 II 级杆组,因如把构件 1、2 和运动副 A 、 B 、 C (或 A 、 B 、 D) 作为 II 级杆组拆出是不对的,因为在拆出杆组时,要把该杆组上的所有运动副全部带走,即要把 A 、 B 、 C 、 D 四个运动副带走,这样一来,拆出了二个

杆、四个低副,不满足杆组自由度应为零的条件,同时剩下的部分的自由度 $F=3$ 也与原机构不符,故不可以。拆出构件 2、3 或 2、4 也会遇到同样的问题。这时只能拆出Ⅲ级杆组,如图 b 所示。若以构件 AB 为原动件,则只能拆出一个Ⅳ级杆组,如图 c 所示。基本杆组的级别是以该杆组中所构成的封闭形(由一个或若干个构件所构成的)中所包含的最多运动副数来确定的。一般说,杆组的级别越高其运动分析和动力分析的难度也就越大。

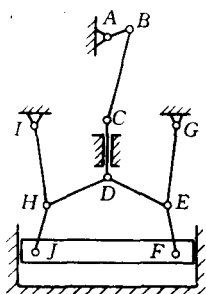


图 2-4

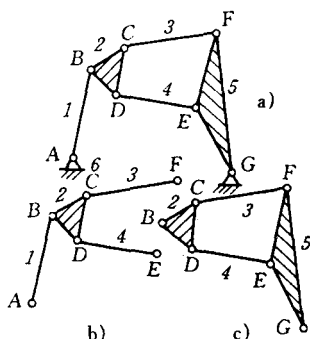


图 2-5

4. 典型例题及问题分析

1) 例题 2-1 试画出图 2-6a 所示泵机构的机构运动简图,并计算其自由度。

解 在绘制机构运动简图时,首先必须搞清机构的组成及运动传递情况。在图示机构中,偏心盘 1 为原动件,其与机架 4 构成转动副 A;构件 1 与带环的柱塞 2 构成转动副 B(不管转动副外形尺寸大小如何,均系绕着它的转动中心回转,故均用在转动中心处的小圆圈来表示);构件 2 则在

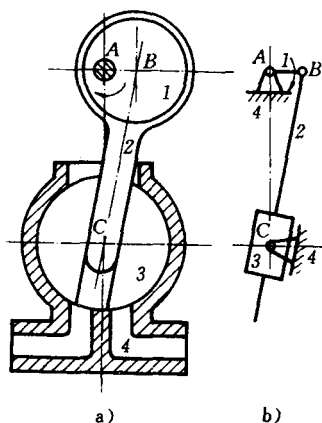


图 2-6

摆动盘 3 的槽中来回移动,构成移动副,其相对移动方向沿 BC 方向;构件 3 与机架 4 组成转动副 C,其在摆动盘 3 的中心处。

根据上述分析,再选定一适当的比例尺和视图平面,并依次定出各转动副的位置和移动副导路的方位。就不难画出其机构运动简图,如图 b 所示。由于该机构具有三个活动构件、三个转动副和一个移动副,没有高副,没有局部自由度和虚约束,故机构的自由度为

$$\begin{aligned} F &= 3n - (2p_l + p_h - p') - F' \\ &= 3 \times 3 - (2 \times 4 + 0 - 0) - 0 = 1 \end{aligned}$$

2) 例题 2-2 试画出图 2-7a 所示冲压机构的机构运动简图,并判断其是否有确定的相对运动。

解 首先弄清机构的组成及运动传递情况。其中偏心盘 1 为原动件,与机架 4 构成转动副 A,构件 1 与月牙块 2 在以 R 为半径的圆弧上部分接触,月牙块与偏心盘之间的相对运动为绕着 B 点的转动,故构件 1、2 之间组成转动中心在 B 点的转动副;构件 2、3 之间有类似情况,它们在 C 点处构成转动副;构件 3 与机架 4 组成移动副。

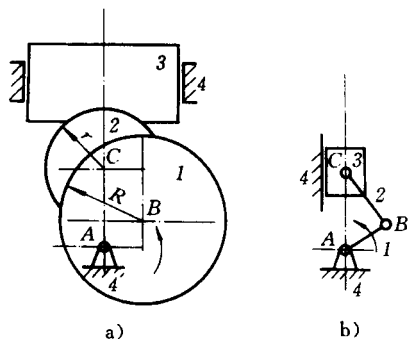


图 2-7

弄清了机构的组成情况及运动传递情况之后,再选定一适当比例尺和视图平面,就不难画出其机构运动简图如图 b 所示。此题的关键在于要认识到构件 2(月牙块)上的两个运动副为转动副,并能正确找出它们所在的位置。

机构的自由度为

$$\begin{aligned} F &= 3n - (2p_l + p_h - p') - F' \\ &= 3 \times 3 - (2 \times 4 + 0 - 0) - 0 = 1 \end{aligned}$$

机构只有一个原动件(构件 1),其数目与机构的自由度相等,故知机构具有确定的相对运动。

3) 例题 2-3 试计算图 2-8a 所示凸轮-连杆组合机构的自由度。

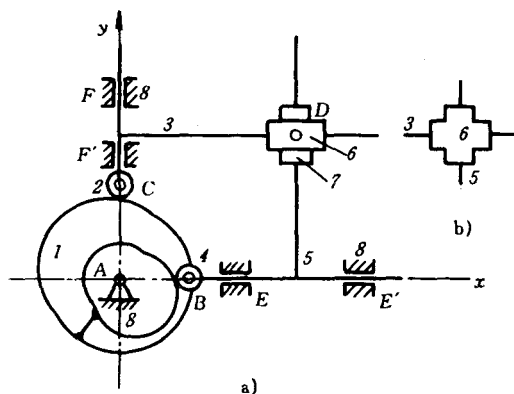


图 2-8

解 图示机构在 D 处的结构与图 2-1 所示者一致,经分析知该机构共有 7 个活动构件,8 个低副(注意移动副 F 与 F' , E 与 E' 均只算作一个移动副),2 个高副;因有两个滚子 2、4,所以有两个局部自由度,没有虚约束,故机构的自由度为

$$\begin{aligned} F &= 3n - (2p_l + p_h - p') - F' \\ &= 3 \times 7 - (2 \times 8 + 2 - 0) - 2 = 1 \end{aligned}$$

如将 D 处结构改为如图 b 所示形式,即仅由两个移动副组成。注意,此时在该处将带来一个虚约束。因为构件 3、6 和构件 5、6 均组成移动副,均要限制构件 6 在图纸平面内转动,这两者是重复的,故其中有一个为虚约束。经分析知这时机构的活动构件数为 6,低副数为 7,高副数和局部自由度数均为 2,虚约束数为 1,故机构的自由度为

$$\begin{aligned} F &= 3n - (2p_l + p_h - p') - F' \\ &= 3 \times 6 - (2 \times 7 + 2 - 1) - 2 = 1 \end{aligned}$$