

陈敏卿
贾明森 编

机械原理 指导书

华中工学院出版社

机械原理指导书

陈敏卿 编
贾明森

华中工学院出版社

机械原理指导书

陈敏卿 编
贾明森

责任编辑 刘继宁

华中工学院出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中工学院出版社沔阳印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 9.25 字数: 203,000

1987年5月第1版 1987年5月第1次印刷

印数: 1-2,000

ISBN 7-5609-0026-7/TH·4

统一书号: 15255-084 定价: 1.55元

内 容 提 要

本书紧扣机械原理课程的基本内容，结合历年硕士研究生考试的情况，列举了大量例题，进行了较为详细的分析、计算。

全书分为十二章，与现行通用教材基本上保持一致。除绪论外，其余各章均由基本内容、疑难问答、典型例题分析、本章重点与学习要求、习题等五个部分组成。这五个部分各有侧重，同时又互相联系。书中，叙述简明，脉络清楚，便于复习，利于自学。

本书对有志于报考研究生的同志及其他有关的工程技术人员、青年教师或大学生将有一定的帮助。

前 言

本书是学习、辅导机械原理课程的参考用书。其内容的深、广度与前教育部1980年颁发的“高等工业学校四年制机械类各专业《机械原理教学大纲》(草案)”中的基本部分和少数选讲内容相符,而某些重点部分则有所加深和拓广。本书编排的章节顺序、名词术语、公式和符号等与目前通用教材基本一致,以便于读者学习。

本书分为十二章。除绪论外,其余各章均由“基本内容”、“疑难问答”、“典型例题分析”、“本章重点与学习要求”和“习题”等五个部分组成。其中:“基本内容”部分,将帮助读者学完本章教材后作个回忆,掌握该章的主要内容,但教材中冗长公式的推导与复杂图形的刻画将不再重复。“疑难问答”部分,将初学者容易混淆或较难理解的问题,以提问的方式,作一些比较详细的解答,希望起到提要钩玄的作用。这样,既有利于读者掌握要点,又可供复习查证之用。“典型例题分析”部分,在本书中占了较多篇幅,精选了各种有代表性的例题。解题时,注意交代解题的思路与方法,有的还结合例题,进行了必要的叙述,引出例题所得的结论,作为教材内容的加深和拓广。“本章重点与学习要求”部分,指引读者应抓住哪些重点内容,怎样抓,怎样巩固。“习题”部分,只给了少数习题,这是考虑到读者时间有限,不可能再作大量习题。如想多作一些,则可以从教材中去选,也可以把本书上的例题当作习题,解完后再对照研究,以便进一步发挥自己解题的能

力。

本书主要是为有志报考硕士研究生的青年准备入学考试而编写的。它也可供高等工科院校、业大、电大、函大的机械类专业教、学人员，有关工程技术人员及业余自学者使用。

本书编写过程中，多处参考过清华大学、上海工业大学和上海业余工大的有关资料，单杏林、田福秀两同志给予了很大的帮助。谨在此向有关资料的编者们和给予帮助的同志们表示感谢。

编者才疏学浅，水平有限，兼之业余编写，时作时辍，错误和不当之处，在所难免，诚恳希望读者批评指正。

陈 敏 卿

于华中工学院

1985年9月

目 录

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	(31)
第四章	平面连杆机构及其设计	(66)
第五章	凸轮机构及其设计	(103)
第六章	齿轮机构及其设计	(133)
第七章	轮系及其设计	(182)
第八章	其它常用机构	(202)
第九章	平面机构的力分析	(213)
第十章	运动副中的摩擦与机械的效率	(234)
第十一章	机组的运转和调速	(252)
第十二章	机械的平衡	(273)

第一章 绪 论

机械原理课程讲些什么？本章从基本名词、基本内容两方面作了简明扼要的介绍。篇幅虽然不大，涉及的面却很广，意在使读者获得对机械原理课程一个初步的然而却比较系统的了解。

教材中，开头就阐明了诸如零件、构件、机构、机械、机器等概念的意义，介绍了本课程的内容，这里不再重复。

现在，按学习的任务（或研究的问题）将本课程的内容分为三个部分：

1. 各种机构共同的基本问题

- （1）机构的组成原理和自由度的计算；
- （2）机构运动简图的表示方法；
- （3）机构中的摩擦、效率和自锁。

2. 几种主要机构所特有的问题

- （1）连杆机构的运动分析、力分析和运动设计。
- （2）凸轮机构从动件运动规律的选择、凸轮机构基本尺寸的选择原则与凸轮轮廓的设计。
- （3）齿轮传动的运动几何原理、基本参数和尺寸计算。
- （4）轮系的传动比计算和齿轮齿数的确定。

3. 机器运转的稳定性问题

- （1）回转构件的平衡；
- （2）机器运转过程中速度波动的调节。

最后谈谈学习方法：

课前预习、听课、记笔记、课后复习，做习题和作阶段小结等等是一般的学习方法。现在根据机械原理课程的特点来谈一下本课程的学习方法：

(1) 在学习有关章节时，最好能复习有关的理论力学内容，见表1-1。

(2) 要习惯于用图解法解题，并力求图解准确。

(3) 在学习过程中，既要注重理论上的严密性，又要结合工程实际情况考虑工程上的问题。

表 1-1

本 课 程 内 容	理 论 力 学 有 关 内 容
平面机构运动分析	刚体的平动、定轴转动与平面平行运动，速度合成定理，牵连运动为平动时加速度的合成，牵连运动为转动时加速度的合成，速度瞬心
轮 系	刚体绕两个平行轴转动的合成
平面机构的受力分析	力偶和力偶矩，等效力偶，平面内力偶与力的合成，惯性力系的简化，达伦倍尔原理，平面一般力系的平衡条件，虚功原理
运动副中的摩擦及效率	滑动摩擦，滚动摩擦，自锁
机器速度波动的调节	动能定理，刚体作平动、定轴转动及平面一般运动时的动能
机 械 的 平 衡	离心力，两个同向平行力的合成，两个反向平行力的合成，一个力分解为两个同向平行力，一个力分解为两个反向平行力

第二章 平面机构的结构分析

本章用自由度的计算公式来判断构件组合体运动的可能性和确定性。它是选择机构类型的一个出发点，在此基础上讨论机构的组成原理，并引出杆组的概念。

一 基本内容

(一) 基本概念

零件：加工制造的单元。

构件：由一个或一个以上零件组成的一个整体（视为刚体），亦即机器中的运动单元体。

运动副：具有相对运动的两构件的接触组合。由于这种接触，使两构件之间的相对运动受到某些限制。组成运动副的两构件之间可能产生的相对运动，就是运动副的自由度。

转动副(回转副)：组成运动副的构件间的相对运动为转动。

移动副(滑动副)：组成运动副的构件间的相对运动为移动。

上述转动副和移动副的运动副元素分别为圆柱面和平面，接触应力比较低，故统称为低副。构成这两种副的两构件间只有一种可能的相对运动，所以转动副和移动副的自由度均为1。

高副：两构件之间以点或线的形式相接触的运动副。高副以其运动副元素之间的接触应力比较高而得名。在平面机构中，组成高副的两构件间有两种可能的相对运动，故高副的自由度为 2。

运动链：若干个构件通过运动副联接而成的构件系统。闭式链是运动链中各构件组成的首末封闭的系统；开式链是运动链中各构件组成的首末不封闭的系统。

机构：将运动链中某一构件视为固定，另一个构件或几个构件按给定的运动规律相对于固定构件运动，如果其余构件都有确定的运动，则此运动链是机构。这种视为固定的构件多指固定在地面上的机架。但也可能是运动着的机架，如船的船体和飞机的机身等。

机构具有确定运动的条件是：运动链的自由度等于按给定规律相对于机架运动的原动构件数。若自由度多于原动件数，则运动链中活动构件相对于机架的运动不确定；若少于原动件数，则机构在运动过程中，某些构件将损坏。

机器：能完成有用的机械功或转换机械能的机构组合系统。

从结构与运动观点看来，机器与机构并无区别。

机械：机器和机构的总称。

（二）机构运动简图

由于本课程只研究机构的运动学与动力学，而不涉及强度问题，所以可用机构运动简图来表达设计意图。机构运动简图，是用一些简单的线条与符号来表明机构的种类、传动路线、运动副种类与个数、构件个数，但不改变原机构的运动性质的图示方法。一般说，机构运动简图应标出与运动有关的尺

寸，如构件上两铰链中心之间的距离、移动构件上铰链中心的运动线的位置、各固定铰链的位置等。有时，仅讨论机构设计的方案或机构的组成，就可以暂时不标出与运动有关的尺寸。不标出与运动有关的尺寸的简图叫机构简图。

绘制机构运动简图的步骤是：

- (1) 看清机构的构造，找出原动件及传动路线。
- (2) 数出构件个数，判断构件间运动副类别与个数。
- (3) 选择能比较全面地反映机构运动特性的视图作为主要视图。必要时，可附其它视图或展开图。

(4) 量出机构中有关的运动学尺寸。选适当的长度比例尺 μ_l ，画出机构运动简图，其中，原动件上标以箭头，机架上标以斜平行线。

(5) 算出机构的活动度，即运动链中活动构件相对于作为机架的固定件的自由度 F 。检验 F 值是否与机构中原动件个数相符。

(三) 高副低代

高副低代是将机构运动简图中原有高副用低副取代。方法是：先找到高副的两个副元素（即组成高副的两曲线）在接触点处的曲率中心，再用直线将这两曲率中心连起来，作为假想的低副构件的两铰链中心分别与两曲率中心相重合。这种替代并不改变原机构的自由度。

对替代后的低副机构进行自由度计算、机构组成分析和机构运动分析，要比直接按原高副机构来进行分析简单得多。必须指出，高副低代法不能应用于机构力分析中。

(四) 机构自由度的计算

1. 平面运动链自由度的计算

其计算式为

$$F = 3n - 2P_L - P_H$$

式中, n 是活动构件数; F 是整个运动链中活动构件相对于固定构件 (机架) 的自由度; P_L 是整个运动链中低副的个数; P_H 是整个运动链中高副的个数。利用上式计算所得的平面机构的自由度又叫机构的活动度。

2. 应注意的事项

(1) 对于复合铰链: 两个以上构件通过回转副联在一起的铰链称为复合铰链。设 m 个构件用一个铰销铰接在一起, 在计算机构的活动度时, 该复合铰链应算 $(m-1)$ 个转动副。

(2) 对于局部自由度: 机构中个别构件具有不影响其他构件运动的自由度, 称为局部自由度。平面机构的局部自由度主要出现在需要变滑动摩擦为滚动摩擦而设置的滚子和轴承的滚珠上。计算机构的活动度时, 应将局部自由度除去。

(3) 对于虚约束: 机构中不起实际约束作用的重复约束称为虚约束。它可以改善机构的受力情况和提高构件的稳定性, 所以工程实际中经常采用虚约束。计算机构的活动度时, 虚约束是应该除去的。可是, 要正确判断哪是虚约束却是比较困难的。为此, 将几种常见的虚约束出现情况、形成虚约束的几何条件和计算机构活动度时的处理办法列于表 2-1 中。

(五) 机构的组成分析

在一般机构中, 原动件大多与机架直接相连, 组成自由度为 1 的所谓基本机构。自由度为零的运动链, 称为杆组。依次

表 2-1

虚约束出现情况	形成虚约束的几何条件	计算机构活动度时的处理办法
两构件之间形成多个移动副,如图2-1	各移动副的导向线必须平行(或共线)	任何两构件只能形成一个运动副,故只算一个移动副
两构件之间形成多个转动副,如图2-2	各转动副的轴线必须共线	只算一个转动副
定宽凸轮或定径凸轮与从动件形成两个高副,如图2-3	凸轮轮廓两侧宽度或两侧径向尺寸为定值	只算一个高副
活动构件上某动点的轨迹为圆弧,如图2-4中C点的轨迹为圆弧,其圆心为铰接点D	杆长等于动点轨迹圆弧的半径	撤消附加杆件与其转动副
活动构件上某动点的轨迹为直线,如图2-5中D点的轨迹在铅垂线上	导路的导引方向必须与该动点的直线轨迹平行	撤消附加滑块及与其相关的转动副与移动副
机构中两构件上各有一点,其距离始终不变,如图2-6中I、C两点	两动点有相同的轨迹和相同的运动规律	撤消附加杆及其转动副
机构中两构件上各有一动点的轨迹相同,且运动规律也相同,如图2-7	两动点有相同的轨迹和相同的运动规律	撤消附加转动副

将若干个杆组叠加到一个或若干个基本机构上即组成多杆机构。机构是由基本机构加上若干杆组而组成,称为机构的组成原理,又叫阿苏尔原理;杆组也叫阿苏尔组。

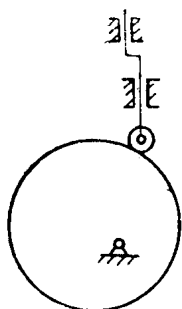


图2-1

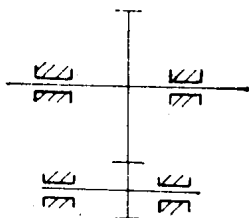


图2-2

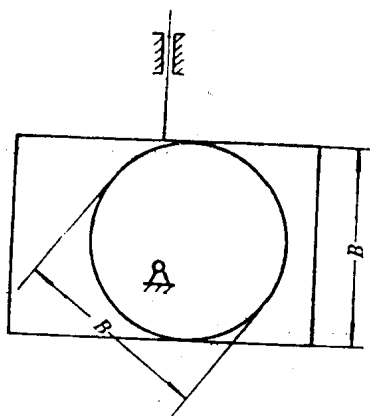


图2-3

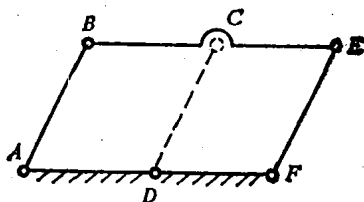


图2-4

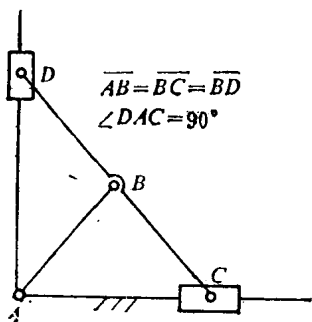


图2-5

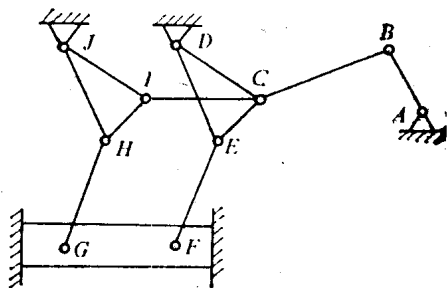


图2-6

由此可知，机构具有确定运动的条件是：机构的自由度数应等于原动件数或基本机构的自由度数。

找出已知机构的机架、原动件与自由度为零的从动件系统，并确定该机构中的基本机构以及从动件系统中若干个不可再分的、自由度为零的杆组，属于机构组成分析的内容。它在机构运动分析与受力分析中有着重要意义。

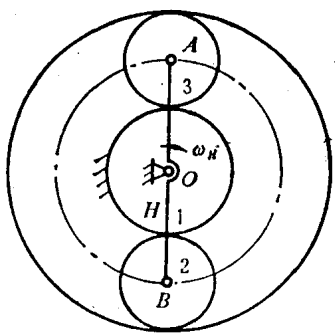


图2-7

在进行机构组成分析时，一般应将原机构中的高副代之以相应的低副，并添加（假想的）附加构件。以下仅讨论低副机构的组成分析。着重于杆组及其类型的确定。

设由 n 个构件和 P_L 个低副构成的自由度为零的从动件系统，有

$$F = 3n - 2P_L = 0$$

或

$$P_L = \frac{3}{2}n$$

因为 P_L 与 n 皆为整数，可知 n 必为偶数。满足这一条件的最简单杆组为 $n = 2$ ， $P_L = 3$ ，如图2-8所示。这种杆组由两个低副构件组成，故称Ⅰ级杆组。

满足 $F = 0$ 且 $n = 4$ ， $P_L = 6$ 的杆组有两类，如图2-9所示。其中，(a)类的中心构件呈三角形，分别与三个外接构件组成三个内副，称为Ⅱ级杆组；(b)类的中心构件由四个构件形成封闭四边形，称为Ⅳ级杆组。为了表示方便，这类杆组的副全

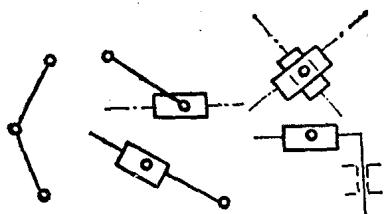


图2-8

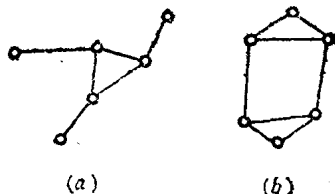


图2-9

部画成转动副。若用部分移动副代之，则可以演化成多种派生型式，但杆组的级别不变。

$n \geq 6$ 的高级杆组类型很多，其运动分析与力分析方法更复杂，很少实际应用，故不再一一列举。

二 疑难问答

问1 两个作平面相对运动的构件，要确定其中一个构件对另一构件的相对位置需要几个独立参数？

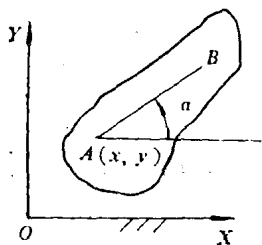


图2-10

答 如图2-10所示，在任一构件上取 XOY 坐标系，在另一构件上任取两点 A 和 B ，并连直线 AB 。当 A 点的坐标 x 、 y 以及 AB 线与 x 轴的夹角 α 三者确定后，则一构件对另一构件的相对位置就完全确定了。故确定作平面相对运动的构件的位置需要三个独立参数，即一个

平面运动构件具有三个自由度。必须指出：同种情况下独立参数的个数是一定的，但参数的取法可以不同。如本例也可取 B 点的 x 、 y 坐标与 α 值。