

工科课程**提高与应试**丛书

- 涵盖课程重点及难点
- 精设典型题详解及评注
- 选配课程考试模拟及全真试卷

董海军 主编

机械原理

典型题解析及自测试题



西北工业大学出版社

工科课程提高与应试丛书

机械原理 典型题解析及自测试题

主 编 董海军
编 者 董海军 苏 华
张永红 李树军

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书与孙桓、陈作模主编的《机械原理》(高等教育出版社出版)配套。全书分为三部分:第一部分典型题解析共分十章,每章分内容提要、典型题解析、习题三个模块;第二部分自测试题包括四套模拟试题和四套研究生入学考试题;第三部分即附录,给出了各章习题及自测试题的答案。全书突出了题目的典型性与代表性,典型题解析不仅给出了例题的详细解答,还分析了解题思路,对解题中容易出现的错误及解题技巧也进行了评注。

本书可作为工科高等院校学生学习机械原理课程的辅助教材,也可作为报考硕士研究生人员的复习辅导教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理典型题解析及自测试题/董海军主编. —西安:西北工业大学出版社,2001.3

(工科课程提高与应试丛书)

ISBN 7-5612-1291-7

I. 机... II. 董... 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 52118 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:029-8493844

网 址:<http://www.nwpu.com>

印 刷 者:西北工业大学出版社印刷厂印装

开 本:850 毫米×1 168 毫米 1/32

印 张:7.375

字 数:185 千字

版 次:2001 年 5 月第 1 版 2001 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~8 000 册

定 价:10.00 元

前 言

机械原理课程是高等学校工科机械类专业普遍开设的一门重要的技术基础课。通过本门课程的学习，不仅将为学习有关后续课程和掌握专业知识打好必要的基础，而且还为将来更好地掌握新的科学技术，实现祖国四个现代化建设创造条件。此外，本门课程也是全国高校机械类专业硕士研究生入学考试的必考科目。由于本门课程课时普遍减少，课堂教学中没有多少时间来讲例题，因此学生普遍反映做作业困难较多。为了帮助学生学好本门课程，以及帮助考研人员系统地复习，我们编写了本书。

本书第一部分简要说明了机械原理课程各章的重点与难点，通过对若干典型例题的分析、解析，帮助学生巩固所学知识，掌握正确的解题思路和方法，例题后的评注指出了学生在解题中容易出现的错误及对不同类型题目的解题技巧。书中所编例题、习题大多来自历年的本科生考试题、研究生入学试题及题库中试题，针对学生在考试、作业、答疑中较常出现的错误，突出了题目的典型性和代表性，力求起到以题明理、触类旁通的效果。第二部分自测试题包括四套模拟试题和四套研究生入学试题，附录给出了各章习题及自测试题的答案。

参加本书编写的有董海军、苏华、张永红、李树军等，全书由董海军统稿，并任主编。

本书承王三民教授审阅，提出了许多宝贵意见，我们在此表

示衷心感谢。

由于编者水平所限，书中错误和欠妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2001年1月

目 录

第一部分 典型题解析

第一章 机构的结构分析	1
一、内容提要	1
二、典型题解析	4
三、习题	13
第二章 平面机构的运动分析	18
一、内容提要	18
二、典型题解析	21
三、习题	31
第三章 机械中的摩擦和机械效率	36
一、内容提要	36
二、典型题解析	41
三、习题	48
第四章 平面连杆机构及其设计	52
一、内容提要	52
二、典型题解析	57
三、习题	63
第五章 凸轮机构及其设计	68
一、内容提要	68
二、典型题解析	73
三、习题	79

第六章 齿轮机构及其设计	86
一、内容提要	86
二、典型题解析	90
三、习题	99
第七章 轮系	107
一、内容提要	170
二、典型题解析	109
三、习题	115
第八章 其他常用机构	124
一、内容提要	124
二、典型题解析	126
三、习题	127
第九章 机器运转及速度波动的调节	131
一、内容提要	131
二、典型题解析	133
三、习题	138
第十章 机械的平衡	143
一、内容提要	143
二、典型题解析	144
三、习题	148

第二部分 自测试题

自测试题一	151
自测试题二	155
自测试题三	159
自测试题四	163
1998年西北工业大学研究生入学机械原理试题	166

1999年西北工业大学研究生入学机械原理试题	171
2000年西北工业大学研究生入学机械原理试题	174
2001年西北工业大学研究生入学机械原理试题	178

附录 习题与自测试题答案

习题答案.....	183
自测试题答案.....	211
参考文献.....	227

第一部分 典型题解析

第一章 机构的结构分析

一、内容提要

(一) 本章重点

本章的重点是运动副和运动链的概念、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。

1. 搞清楚有关机构组成的一些概念

(1) 分清构件与零件的不同。零件是机器制造的单元体。将一部机器拆到最后不能再拆时,剩下的就是一个个零件。构件是机构运动的单元体,是组成机构的基本要素。实际的构件可能是一个零件,由于结构或工艺上的原因,也可能是由若干零件固联在一起的一个独立运动的整体。

(2) 运动副是两个构件组成的可动联接,是组成机构的又一基本要素。运动副是约束运动的,因而一个运动副至少引入一个约束,也至少保留一个自由度。至于两构件组成运动副后还能产生哪些相对运动,则与运动副的类型有关。运动副按其接触形式分为高副(点或线接触)和低副(面接触),也可按所能产生相对运动的形式分为转动副、移动副、螺旋副和球面副等。

(3) 运动链是两个或两个以上的构件通过运动副相联接而构成的相对可动的系统。若构成的是相对不可动的系统,则为桁架或结构体,即蜕变为一个构件。运动链有首末封闭的闭链,也有未封闭的开链。运动链还有平面运动链和空间运动链之分。

(4) 机构从其功能来理解是一种用来传递运动和力的可动装置。从机器的特征来看,机构是具有确定相对运动的构件组合体。而从机构组成来看,机构是具有固定构件的运动链。机构中的固定构件称为机架,按给定已知运动规律独立运动的构件称为原动件,而其余活动构件则称为从动件。从动件的运动规律取决于原动件的运动规律和机构的结构。

2. 机构运动简图及其绘制

根据机构的运动尺寸,按一定的比例尺定出各运动副的位置,再用规定的运动副代表符号和简单的线条或几何图形将机构的运动情况表示出来,即为机构运动简图。由于机构的运动仅与机构中的运动副结构情况和机构的运动尺寸(由各运动副的相对位置决定的尺寸)有关,而与构件的外形尺寸等因素无关,因而用机构运动简图不仅可以表示机构的组成和运动情况,而且可以被用来进行机构的运动分析和力分析。

绘制机构运动简图时应注意以下几点:

(1) 首先搞清楚机械的实际构造和运动情况,找出机架、原动件和执行部分,顺着运动传递的路线,看看运动是怎么从原动件传到执行部分的,从而搞清楚该机械由多少个构件组成,各构件之间构成何种运动副。

(2) 选择最能反映该机械运动特征的运动平面为投影面,一般选择多数构件的运动平面为投影面。必要时可就机械的不同部分选择两个或两个以上的投影面,然后转到同一平面上,或把主运动简图上难以表达清楚的部分另绘一张局部简图。

(3) 机构运动简图不同于装配图,具有“透视功能”,即不管一

个构件是否被其他构件挡住,均可视为“可见”而用实线画出。

3. 机构自由度及其计算

机构自由度是机构具有确定运动时所需的独立运动参数的数目。要使机构不仅能动而且运动确定,则要求机构自由度大于零且机构原动件的数目应等于机构自由度的数目。

计算机构自由度时应注意以下几点:

(1) 要除去局部自由度,即在一些机构中某些构件所产生的不影响整个机构运动的局部运动的自由度。

(2) 要除去虚约束,即在机构中不起约束作用的约束。虚约束的判定问题是本章的难点,要注意虚约束都是在一些特定的几何条件下出现的,教材中详细介绍了机构中存在虚约束的几种特定的几何条件。

(3) 要正确计算运动副的数目。

计算运动副的数目时要着重考虑以下几种情况:

1) 复合铰链问题。杆状构件构成的复合铰链比较明显,而由齿轮、凸轮及机架等构件构成的复合铰链则容易被忽略,计算时应特别注意。

2) 若两构件在多处构成同心的转动副,只能算一个转动副;若两构件在多处构成导路平行的移动副,则只能算一个移动副;若两构件在多处构成法线方向重合的高副,则只能算一个高副。

3) 若两齿轮的中心距受到约束而不变时,两齿轮的轮齿齿廓之间存在间隙,只能有一侧参加接触,故只能算一个高副;若两齿轮在重力或其他外力作用下,中心距可变,两个齿轮的轮齿齿廓之间相互靠紧,则轮齿的两侧都参加接触,且两接触点的公法线方向并不重合,故应算两个高副。

(二) 本章难点

本章的难点是机构自由度计算中有关虚约束的识别和处理

问题。

二、典型题解析

例 1.1 试画出图 1.1(a) 所示泵机构的机构运动简图, 并计算其自由度。

分析 为了正确绘制其机构运动简图, 必须搞清楚机构的组成情况。原动件 1 (为一偏心圆盘) 与机架 4 构成转动副, 其相对回转中心在 A 点。构件 2 (为一带环的柱塞) 与构件 1 也构成转动副, 其回转中心在 B 点。构件 2 在构件 3 (为一摆动盘) 的槽中来回移动, 即构件 2 与构件 3 之间构成移动副, 其相对移动方向沿着 BC 方向。构件 3 与机架 4 之间也构成转动副, 其相对回转中心在

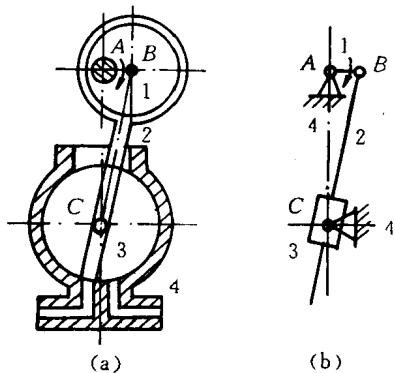


图 1.1

C 点。这里要特别注意转动副及移动副的画法。为了反映机构的真实运动, 在绘制机构运动简图时, 不论转动副的大小如何, 均以一个小圆来表示, 但其圆心必须与相对回转中心重合; 也不论移动副的大小如何, 均可以一个小滑块来表示, 但其导路方向必须与相对移动方向一致。根据上面的分析, 在 B 点和 C 点处各画一个小圆分别表示构件 1 与 2, 构件 3 与 4 所构成的转动副, 并在 C 点处画一小滑块来表示构件 2 与构件 3 所构成的移动副。

解 在将机构的组成情况搞清楚之后, 再选定恰当的比例尺, 并定出各转动副的中心位置, 就不难画出其机构运动简图, 如图 1.1(b) 所示。

由于该机构有三个活动构件(1,2,3),三个转动副(A,B,C)和一个移动副,没有高副,也没有虚约束和局部自由度,故该机构的自由度为

$$F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 3 - (2 \times 4 + 0 - 0) - 0 = 1$$

【评注】 绘制机构运动简图时,不管机构多么复杂,从原动件开始循着运动的传递路径,搞清相接触的构件之间构成什么运动副及运动副的位置最为关键。

例 1.2 图 1.2 (a) 所示为一牛头刨床的初拟设计方案。设计者的设计思路是:动力由小齿轮 1 输入,并推动大齿轮 2 绕其轴 A 连续转动,又通过铰链在大齿轮 2 上 B 处的滑块 3 使摆动导杆 4 往复摆动,并带动滑枕 5 往复运动以达到刨削的目的。试绘制此刨床的机构运动简图,分析其运动是否能实现设计意图,并提出修改方案。

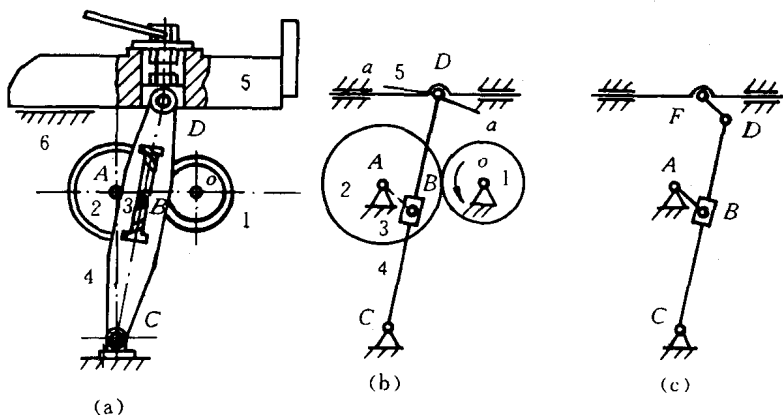


图 1.2

分析 该机构的机构运动简图如图 1.2(b) 所示。要分析其运动是否能实现设计意图,就要计算机构自由度,不难求出该机构

自由度为 0, 即机构不能动。要使该机构具有确定的运动, 就要设法使其再增加一个自由度。

解 该机构的自由度为

$$F = 3n - (2p_1 + p_h - p') - F' = \\ 3 \times 5 - (2 \times 7 + 1 \times 1 - 0) - 0 = 0$$

该机构不能动, 无法实现设计意图。需要在 D 处 (或者 C 处) 增加一个自由度, 其改进后的方案如图 1.2(c) 所示, 它们的自由度均为 1。

【评注】 增加机构自由度的方法一般是在机构的恰当位置上添加一个构件 (相当于增加 3 个自由度) 和一个低副 (相当于引入 2 个约束), 如图 1.2(c) 所示, 这样就相当于给机构增加了一个自由度。值得注意的是, 添加构件时一定要添加在合适的位置上。题解中给出了在 D 处添加构件的方法, 在 C 处增加构件的方案同学可以自己去做。用一个高副代替一个低副也可以增加机构的自由度。

例 1.3 试计算图 1.3 所示的三个机构的自由度。

分析 这三个机构中均有复合铰链。图 1.3(a) 中 C 处两滑块与杆 BC 构成复合铰链, 故 C 处有两个 ($3-1=2$) 转动副和两个移动副, E 处只有两滑块构成铰链, 不是复合铰链, 故 E 处有一个转动副和两个移动副。图 1.3(b) 中 A 处机架、小齿轮和 AB 杆构成复合铰链。图 1.3(c) 中 B, C, D 处均为复合铰链, A 处由于小齿轮与 AB 杆为同一构件, 故仅与机架之间构成一个转动副。

解 图 1.3(a) 中活动构件数 $n = 7$, 低副数 $p_1 = 10$, 没有高副、虚约束和局部自由度。故该机构的自由度为

$$F = 3n - (2p_1 + p_h - p') - F' = \\ 3 \times 7 - (2 \times 10 + 0 - 0) - 0 = 0$$

图 1.3(b) 中活动构件数 $n = 4$, 低副数 $p_1 = 5$, 高副数 $p_h = 1$, 没有虚约束和局部自由度。故该机构的自由度为

$$F = 3n - (2p_1 + p_h - p') - F' =$$

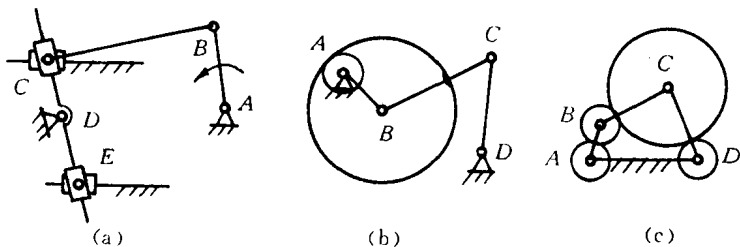


图 1.3

$$3 \times 4 - (2 \times 5) + 1 - 0) - 0 = 1$$

图 1.3(c) 中活动构件数 $n = 6$, 低副数 $p_l = 7$, 高副数 $p_h = 3$, 没有虚约束和局部自由度。故该机构的自由度为

$$F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' =$$

$$3 \times 6 - (2 \times 7 + 3 - 0) - 0 = 1$$

【评注】 不能以为若干构件汇交在一起就构成复合铰链, 如图 1.3(a) 中的 E 处虽有四个构件汇交, 但它们构成两个移动副和一个转动副, 而未构成复合铰链。图 1.3(b) 和图 1.3(c) 中, 几处复合铰链均由于含有盘类构件齿轮而容易被漏掉, 应该注意。

例 1.4 试计算图 1.4 所示凸轮-连杆组合机构的自由度。

分析 由图示机构分析可见, 该机构共有 7 个活动构件, 8 个低副和 2 个高副。其中构件 3 与机架 8, 构件 5 与机架 8 虽各有两处接触, 但如前所述, 只能算作一个移动副。B, C 处两滚子的转动是局部自由度。该机构没有虚约束。

解 该机构的活动构件数 $n = 7$, 低副数 $p_l = 8$, 高副数 $p_h = 2$, 局部自由度 $F' = 2$ 。故该机构自由度为

$$F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' =$$

$$3 \times 7 - (2 \times 8 + 2 - 0) - 2 = 1$$

【评注】 有同学会认为构件 3 的水平杆与构件 5 的垂直杆始终保持垂直, 则滑块 6 与 7 之间没有相对运动, 故应把它们做成一个构件, 如图 1.4(b)

所示。这时该机构将变为具有 6 个活动构件, 7 个低副和 2 个高副。但此时应注意, 十字滑块受构件 3 的约束不能转动, 而构件 5 又再一次约束它使之不能转动, 故其中有一个虚约束, 所以该机构的自由度为

$$F = 3 \times 6 - (2 \times 7 + 2 - 1) - 2 = 1$$

虽然前后两种机构的自由度都为 1, 但前者无虚约束, 而后者有虚约束。所以后者在制造时对尺寸精度有较高的要求。从保证机构运动的灵活性和便于加工装配等方面考虑, 应尽量减少机构中的虚约束, 故还是前者为好。

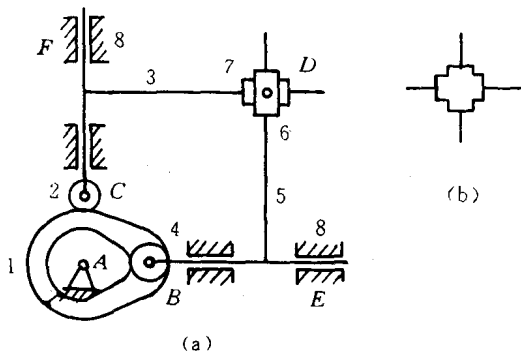


图 1.4

例 1.5 试计算图 1.5 所示的齿轮-连杆组合机构的自由度。

分析 图 1.5(a) 中 A, B 处为复合铰链, 大齿轮 4 与齿条 3 及大齿轮 4 与齿轮 5 的中心距受几何约束保持不变, 如前所述, D 处只能算一个高副; 图(b) 中齿轮 4, 3 及齿条 6 是靠力的作用保持接触, 那么轮齿的两侧面就都保持接触, 故齿轮 4 与 3 及齿轮 3 与齿条 6 的接触均为两个高副。

解 图 1.5(a) 中活动件数 $n = 5$, 低副数 $p_l = 6$, 高副数 $p_h = 2$, 没有虚约束和局部自由度。故该机构的自由度为

$$F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 5 - (2 \times 6 + 2 - 0) - 0 = 1$$

图 1.5(b) 中活动件数 $n = 5$, 低副数 $p_l = 5$, 高副数 $p_h = 4$,

没有虚约束和局部自由度。故该机构的自由度为

$$F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 5 - (2 \times 5 + 4 - 0) - 0 = 1$$

【评注】：对图 1.5(a) 所示机构的自由度计算，只要注意 A, B 处的复合铰链，一般不易出错。但对于图 1.5(b) 所示机构，同学往往会把齿轮的接触按一个高副来算。这里应该注意图 1.5(a), (b) 两个机构中齿轮啮合的区别。

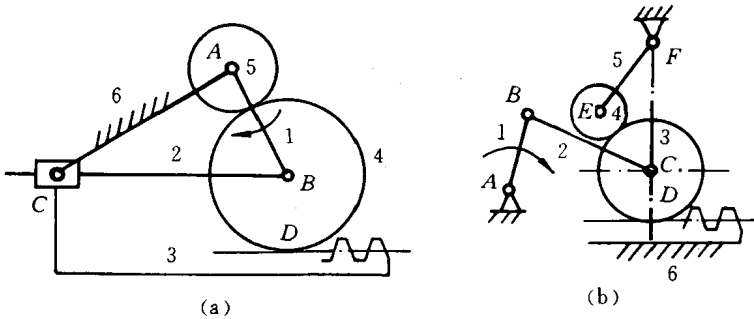


图 1.5

例 1.6 试计算图 1.6 所示机构的自由度。

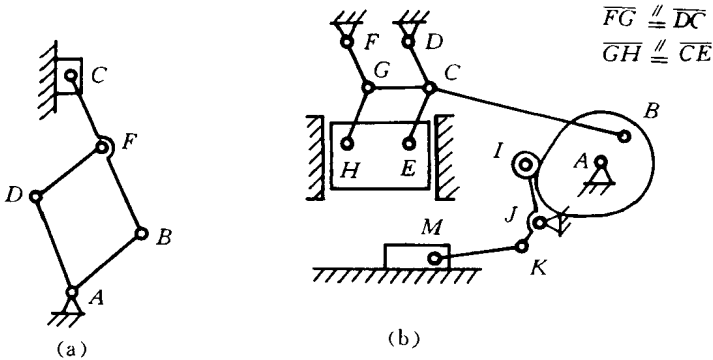


图 1.6

分析 图 1.6(a) 所示机构中，除了 A 处的复合铰链外，没有虚约束和局部自由度；图 1.6(b) 所示机构中，FGH 为重复结构部