

高校经典教材同步辅导

九章丛书

机械原理

(第六版)

辅导及习题全解

主编 / 韩 朝

编写 / 九章系列课题组



人民邮电出版社

高校经典教材同步辅导

机械原理辅导及习题全解

(第六版)

主编 韩 朝

编写 九章系列课题组

陈春先 赵广清 卫继宁

孙怀东 曾 鹏 杨富云

朱东梅 杨 政 李生强

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

高校经典教材同步辅导·机械原理(第六版)/韩朝主编. —北京:人民日报出版社,2004.9

ISBN 7-80208-038-X

I. 高… II. 韩… III. 高校—教学参考资料
IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 099666 号

高校经典教材同步辅导·机械原理

主 编:韩朝

责任编辑:曲易

封面设计:伍克润

出版发行:人民日报出版社(北京金台西路2号/邮编:100733)

经 销:新华书店

印 刷:北京顺天意印刷有限公司

字 数:280千字

开 本:850×1168 1/32

印 张:14

印 数:3000

印 次:2005年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-80208-038-X/G.020

定 价:19.80元(全五册·128.00元)

前 言

《机械原理》(第六版)是一门基础性的技术课程,它的主要任务是培养学生掌握机构学和机械动力学的基本理论、基本知识和基本技能,并初步具有确定机械运动方案、分析和设计机构的能力。该课程在机械类本科教学体系中占有十分重要的地位,是全国高校机械类专业硕士研究生入学考试课程之一。该课内容较多,具有很强的理论性和实践性,旨在培养学生将实际问题抽象成基础理论问题的能力,锻炼学生的思维方式,使其能够分析问题,解决问题。

本书共 14 章,每章内容包括学习要求、内容提要、典型例题分析、思考题及练习题详解四个部分。在学习要求与内容提要中,对学生或考生应掌握的有关基本概念、基本理论和机械分析与设计的基本方法进行了分析、归纳和指导。本书所选典型例题大多来自于研究生入学考试题和本科生考试题以及国内外有关机械原理教材、习题集和学习指导书等有关资料。思考题及练习题全部给出了参考答案。本书在典型例题与思考题及练习题详解中,通过知识点窍、提纲挈领地抓住了题目核心知识,让学生清楚地了解出题者的意图;运用“逻辑推理”引导学生思维,以培养学生科学的思维方法和思维技巧;解题过程清晰,步骤完整、数据准确、附图齐全,作图精确。

本书在编写过程中参考了西北工业大学出版社出版的《机械原理常见题型解析及模拟题》一书,在此深表感谢。

本书是在校本科生学《机械原理》课程的辅导教材,也是考研人员复习备考的参考书,同时可供教师备课命题作重要参考资料。

由于编者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2005 年 6 月

目 录

第一章 绪论	(1)
学习要求	(1)
内容提要	(1)
第二章 机构的结构分析	(2)
学习要求	(2)
内容提要	(2)
典型例题分析	(6)
思考题及练习题详解	(16)
第三章 平面机构的运动分析	(37)
学习要求	(37)
内容提要	(37)
典型例题分析	(40)
思考题及练习题详解	(58)
第四章 平面机构的力分析	(106)
学习要求	(106)
内容提要	(106)
典型例题分析	(108)
思考题及练习题详解	(120)
第五章 机械的效率和自锁	(144)
学习要求	(144)
内容提要	(144)
典型例题分析	(145)
思考题及练习题详解	(157)
第六章 机械的平衡	(171)
学习要求	(171)

内容提要	(171)
典型例题分析	(173)
思考题及练习题详解	(187)
第七章 机械的运转及其速度波动的调节	(206)
学习要求	(206)
内容提要	(206)
典型例题分析	(209)
思考题及练习题详解	(223)
第八章 平面连杆机构及其设计	(237)
学习要求	(237)
内容提要	(237)
典型例题分析	(242)
思考题及练习题详解	(254)
第九章 凸轮机构及其设计	(288)
学习要求	(288)
内容提要	(288)
典型例题分析	(293)
思考题及练习题详解	(301)
第十章 齿轮机构及其设计	(314)
学习要求	(314)
内容提要	(314)
典型例题分析	(322)
思考题及练习题详解	(333)
第十一章 齿轮系及其设计	(364)
学习要求	(364)
内容提要	(364)
典型例题分析	(367)
思考题及练习题详解	(375)
第十二章 其他常用机构	(399)
学习要求	(399)

内容提要	(399)
典型例题分析	(404)
思考题及练习题详解	(407)
第十三章 工业机器人机构及其设计	(418)
学习要求	(418)
内容提要	(418)
思考题及练习题详解	(419)
第十四章 机械传动系统的方案设计	(431)
学习要求	(431)
内容提要	(431)
思考题及练习题详解	(434)

第一章 绪论

学习要求

1. 明确本课程研究的对象、内容以及在培养机械类高级技术人才全局中的地位、作用和任务。
2. 对机械原理的新发展有所了解。

内容提要

本章讲授的重点是“本课程研究的对象及内容”。在本章的开始,介绍了机器、机构、机械等名词的概念,介绍了机器和机构的用途及区别,并通过实例说明各种机器的主要部分一般都是由各种机构组成的,目的是为了便于介绍本课程研究的对象及内容。在本章的学习中,应始终把注意力集中在了解本课程研究的对象及内容上。

此外,对本课程的性质和特点也应有所了解,以便采取合适的学习方法把本课程学好。

第二章 机构的结构分析

学习要求

1. 搞清运动副、运动链、约束和自由度等重要概念。
2. 能计算平面机构的自由度并判定其具有确定运动的条件。
3. 对于一般由平面机构及简单空间机构(包括蜗轮蜗杆机构、圆锥齿轮机构、万向联轴节等)所组成的机械系统,能正确的画出其机构运动简图并计算其自由度。
4. 对平面机构组成的基本原理有所了解。

内容提要

1. 机构的组成

(1) 构件 构件是机器中每一个独立运动的单元体,是组成机构的基本要素之一,而零件是机器制造的单元体。

① 实际的构件可以是一个独立运动的零件,也可以是若干个零件固连在一起的一个独立运动的整体;

② 构件是机构中的刚性系统,构件中各零件间不能相对运动;

③ 构件的图形在表达上是最简单的线条或几何图形来表示。

(2) 运动副 运动副是由两构件直接接触而组成的可动的联接,是组成机构的又一基本要素。而把两构件上能够参加接触而构成运动副的表面称为运动副元素。

运动副的基本特征为:

① 机构运动副的两构件具有一定的接触形式;

② 两构件能产生一定形式的相对运动。

运动副的分类:

① 按其两构件的相对运动情况分为平面运动副和空间运动副；

② 按其两构件的接触情况分为低副(面接触)和高副(点接触或线接触)；

③ 按其两构件所能产生的相对运动分为转动副、移动副、平面滚滑副(高副)及空间运动副的螺旋副、球面副、球销副等；

④ 还可根据保持运动副两构件上运动副元素互相接触方式为形封闭运动副和力封闭运动副；

⑤ 根据运动副引入的约束数目,运动副又可分为 I 级副、II 级副、III 级副、IV 级副和 V 级副。

(3) 运动链 构件通过运动副的联接而构成的相对可动系统称为运动链。如组成运动链的各构件构成了首末封闭的系统,则称为闭式运动链或简称为闭链。如组成运动链的构件未构成首末封闭的系统,则称其为开链。

(4) 机构 机构从其功能上来理解是一种用来传递运动和力的可动装置,从机构组成来看,机构是具有固定构件的运动链。

机构中固定的构件称为机架,给定的已知运动规律独立运动的构件称为原动件,而其余活动构件称为从动件。

2. 机构运动简图

(1) 机构运动简图

机构运动简图是用规定的简单线条和符号代表构件和运动副,按比例尺定出各运动副的位置,准确表达机构运动特征的简单图形。

机构运动简图不仅表示了机构的组成和运动情况,而且可用作机构的运动分析和力分析。机构运动简图一定要严格按比例尺绘制,否则只能称为机构示意图。

(2) 绘制机构运动简图的步骤及方法

① 分析机构的运动及组成

通过观察和分析机械的实际构造和运动情况,先搞清机械的

原动部分和执行部分,然后循着运动传递的路线,查明组成机构的构件情况和运动副的类别、数目及相对位置情况。

② 选择投影面

选平面机构运动平面或运动平面平行的平面为投影面。

③ 选取比例尺 μ_l (m/mm)

具体画法是:先根据机构的运动尺寸,确定出各运动副的位置(转动副的中心、移动副的导路方位及高副的接触点等),画上相应的运动副符号;再用简单的线条代表构件,将各运动副连接起来;最后,要标出构件号数字及运动副的代号字母,画出原动件的运动方向箭头。

3. 机构具有确定运动的条件

(1) 机构的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。

(2) 为了使机构具有确定的运动,机构的原动件的数目应等于机构的自由度数。

4. 机构自由度的计算

(1) 平面机构自由度的计算公式为

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

式中, F 为机构自由度; n 为机构中活动构件数; p_l 为机构中的低副数; p_h 为机构中的高副数。

(2) 在利用上式计算机构自由度时,应特别注意下列三种情况:

1) 正确计算运动副的数目

① 两个以上的构件在同一轴线处以转动副相联接,则构成复合铰链, m 个构件以复合铰链相联接时,构成转动副的数目为 $(m-1)$ 个。

② 两构件在多处配合而构成转动副,且各转动轴线重合,计算运动副数目时也只能算作一个转动副。

③ 两构件在多处接触而构成移动副,且移动方向彼此平行或

者重合,计算运动副数目时只能算作一个移动副。

④ 如果两构件在多处相接触而构成平面高副,且各接触点处的公法线彼此重合,计算运动副数目时也只能算作一个平面高副。

⑤ 如果两构件在多处接触而构成平面高副,但各接触点处的公法线方向并不彼此重合,计算运动副数目时,则相当于一个低副。

2) 除去局部自由度

局部自由度是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。在计算机构自由度时,可将产生局部运动的构件和与其相联接的构件视为焊接在一起,以达到除去局部自由度。

3) 除去虚约束

虚约束是机构中实际上不起约束作用的约束。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划掉不计,以达到除去机构中的虚约束目的。

(3) 计算机构自由度的另一种方法是在确定了运动副数目 p_l, p_h 及局部自由度数目 F' , 虚约束数目 p' 后,再按下式计算机构的自由度。

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

式中: n, p_l, p_h 为未排除局部自由度及虚约束时机构的活动构件数、低副数及高副数; p' 虚约束数目; F' 局部自由度数目。

5. 平面机构的组成原理

(1) 机构的折组分析: 将机构分解为机架和原动件及若干个基本杆组(不能再折的自由度为零的杆件组), 然后, 对相同的基本杆组以相同的方法进行运动分析或力分析

(2) 机构的组成原理: 任何机构都可以看作是由若干个基本杆组依次联接于原动件和机架上而构成的。

6. 平面机构的结构分类

根据机构的杆组的条件 $3n - 2p_l - p_h = 0$ 可知, 最简单的杆组是由 2 个构件和 3 个低副组成的, 这种杆组称为 II 级杆组。把 4 个

构件和 6 个低副组成的基本杆组称为 III 级杆组。

在同一机构中可包含不同级别的基本杆组,把最高级别为 II 级的杆组组成的机构称为 II 级机构;把最高级别为 III 级的杆组组成的机构称为 III 级机构;而把由机架和原动件组成的机构称为 I 级机构。

7. 平面机构中的高副低代

(1) 高副低代是将机构中的高副虚拟地以低副来代替,替代后机构的自由度不变,机构的瞬时速度、瞬时加速度也不变。高副低代只便于对机构进行自由度计算、机构组成分析和机构运动分析,但不能用于机构的力分析。

(2) 高副低代的方法是:用一个虚拟两副构件将两高副构件在过接触点的曲率中心处相连起来即可。若高副两元素之一为直线时,则因其曲率中心在无穷远处,故所连接这一端的运动副为移动副。

典型例题分析

例 2.1 计算图 2-1 所示油泵的机构运动简图,图中 $l_{AB} = 120\text{mm}$, $l_{AC} = 400\text{mm}$ 。

【知识点窍】 机构运动简图

【解题过程】 第一步 对机构进行分析:

图示 2-1 所示机构中构件 3 为一带横孔的圆柱体,构件 4 为机架,构架 1 为原动件,构件 2、3 为从动件;且构件 1 分别与构件 4、2 均以转动副相联接,其回转中心分别在 A、B 点;构件 2 与 3 之间也是以圆柱面相接触,但其相对运动为移动,故构件 2 与 3 以移动副相联接,移动迹线为构件 2 的轴心线 BC;构件 3 与 4 之间以大圆柱面相接触,其相对运动为转动,故构件 3 与 4 以转动副

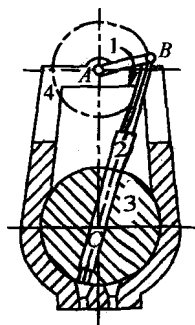


图 2-1

联接,其回转中心在 C 点。

第二步 作图:选取比例尺 $\mu_l = 0.02\text{m/mm}$;任取一点画出构件 4、1 间的回转副 A ,并标出机架 4;运动简图上 A 、 C 间的距离应为

$$l_4 = l_{AC}/\mu_l = 0.4/0.02 = 20\text{mm}$$

根据 l_4 画机构件 4、3 间的回转副 C ;运动简图上 A 、 B 点间的距离为

$$l_1 = l_{AB}/\mu_l = 0.12/0.02 = 6\text{mm}$$

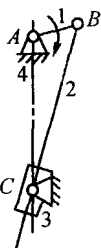


图 2-2

据 l_1 画机构件 1、2 间的回转副 B (B 点可在以 A 为圆心,以 6mm 为半径的圆上任意选定);在 C 点处画移动副滑块,移动方向为 BC 向;滑块即为构件 3;连 A 、 B 为构件 1,由 B 点过滑块 3 画直线即构件 2 (如图 2-2)。

说明 (1) 机构运动简图与机构运动示意图的区别在于前者必须严格按比例尺 μ_l 绘制,而后者不必。

(2) 机构运动简图的比例尺 $\mu_l = \frac{\text{实物尺寸}}{\text{图纸尺寸}}$ (m/mm),而机械制图的比例尺是 $\frac{\text{图纸尺寸}(\text{mm})}{\text{实物尺寸}(\text{mm})}$ 。二者的区别在于:分子、分母不相同;实物尺寸所用单位不同; μ_l 有单位 (m/mm),而机械制图比例尺无单位。

(3) 机构运动简图比例尺 μ_l 中实物尺寸单位取为 m ,其好处是与以后运动分析中速度单位 (m/s)、加速度单位 (m/s^2) 对应。

例 2.2 图 2-3 所示为一挖掘机,具有三个液压缸,亦即具有三个原动件。试问该机构是否具有确定运动?

【解题过程】 取挖掘机车身 1 为机架,此时该机构为多重装载式平面多杆机构,且 $n = 11$, $p_l = 15$ (Q 处为复合铰链), $p_h = 0$, 则

$$F = 3n - 2p_l - p_h = 3 \times 11 - 2 \times 15 - 0 = 3$$

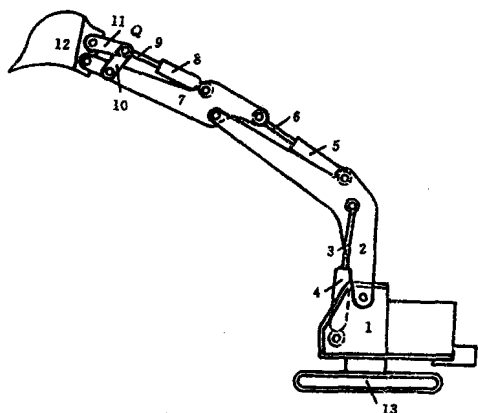


图 2-3

又因挖掘机具有三个原动件,故该机构具有确定的运动。

如果取挖掘机的履带 13 为机架,此时该机构为空间开式运动链机构,其自由度为 4,其中一个自由度为车身 1 的转动,机构运动也是确定的。

例 2.3 图 2-4 所示为一简易冲床的初拟设计方案。设计者的思路是:动力由齿轮 1 输入,使轴 A 连续回转,而固装在轴 A 上的凸轮 2 与杠杆 3 组成的凸轮机构将使冲头 4 上、下运动以达到冲压的目的。试绘出其机构运动简图(设图上 1mm 表示实际尺寸 0.04m,凸轮推程和回程轮廓以及相应的推、回程运动角示意图画出即可),分析其运动是否确定,并提出修改措施(要求用机构运动示意图表示出来)。

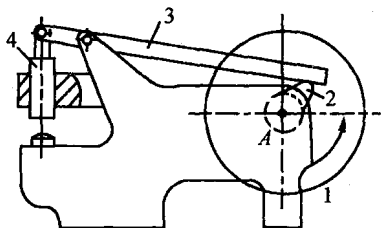


图 2-4

【知识点窍】 机构运动简图, 机构有确定运动的条件

【逻辑推理】 机构的自由度等于原动件数则机构有确定运动。

【解题过程】 机构运动简图见图 2-5(a) 示, 图中 $\mu_l = 0.04\text{m/mm}$ 。

$$\text{自由度 } F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 3 - (2 \times 4 + 1) = 0$$

由于机构的自由度不等于原动件数, 则该简易冲床设计方案的机构不能运动。

修改措施:

- ① 在构件 3、4 之间加一连杆及一个转动副(图 2-5(b) 所示);
- ② 在构件 3、4 这间加一滑块及一个移动副(图 2-5(c) 所示);
- ③ 在构件 3、4 间加一局部自由度滚子及一个平面高副(图 2-5(d) 示)。

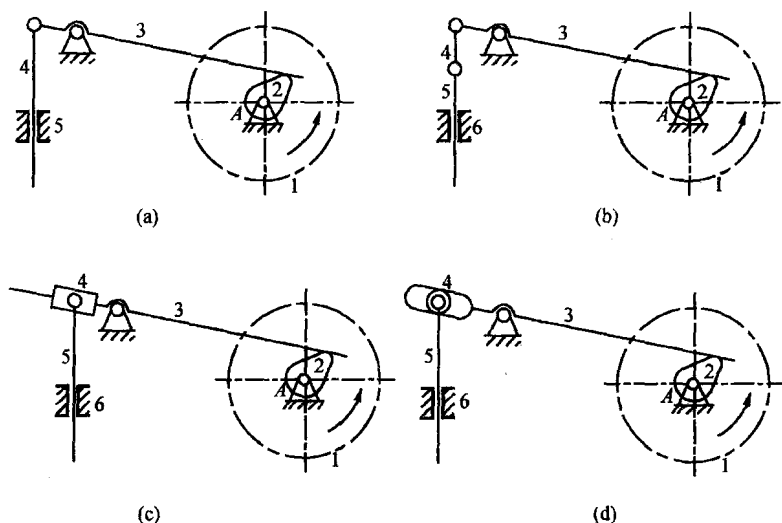


图 2-5

例 2.4 在图 2-6 所示机构中, $AB \parallel EF$, $CD \parallel EF$, 试计算其自由度。