



中国科学院机械工程系列规划教材

国家工科机械基础课程教学基地规划教材

机械原理学习指导 与习题解答

主 编 王 丹

副主编 李金泉 李翠玲 熊晓航



科学出版社
www.sciencep.com

中国科学院机械工程系列规划教材
国家工科机械基础课程教学基地规划教材

机械原理学习指导 与习题解答

主 编 王 丹

副主编 李金泉

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是按照国家教育部颁布的“机械原理教学基本要求”,为帮助机械类本科学生和考研人员学习、复习而编写的。

全书共 14 章。第 1 章绪论对机械原理课程作一个概要的介绍,使学生对整个课程体系及内容有所了解。第 2~13 章配套《机械原理》(李树军主编,科学出版社)各章内容,设置了知识结构、基本要求、重点与难点、典型例题、思考题、习题及习题参考答案等模块。第 14 章给出了 4 套自测题及参考答案。

本书可作为机械类专业学生学习机械原理的辅助教材,也可供近机类和非机类学生、考研人员及青年教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理学习指导与习题解答/王丹主编. —北京:科学出版社,2009
(中国科学院机械工程系列规划教材·国家工科机械基础课程教学基地规划教材)

ISBN 978-7-03-024680-6

I. 机… II. 王… 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(2009)第 138679 号

责任编辑:毛 莹 / 责任校对:李奕莹
责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

明辉印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 8 月第一次印刷 印张:14 1/2

印数:1—3 500

字数:277 000

定价:23.00 元

如有印装质量问题,我社负责调换

中国科学院机械工程系列规划教材

编写委员会

顾 问: 闻邦椿

主 编: 谢里阳

执行主编: 陈良玉

委 员: (以姓氏笔画为序)

马星国 王玉良 王世杰 王淑仁 巩云鹏

巩亚东 刘 杰 孙志礼 李为民 李树军

李景春 宋锦春 柳洪义 黄秋波

序

装备制造业是我国国民经济中的重要基础工业。机械装备为各类产品的物化提供平台和载体,机械装备的技术水平是衡量社会生产力水平的重要标志,机械科学、机械工程技术和机械工业的发展水平对经济建设和社会发展的作用至关重要。

目前,世界机械工业产值达到了总工业产值的 $1/3$ 以上。我国制造业增加值在国内生产总值所占的比重高达 40% ,我国的财政收入一半来自制造业。随着我国加入 WTO,经济越来越融入全球经济体系,我国的制造业在世界制造业中的地位越来越重要,并正从制造大国迈向制造强国。至少在 21 世纪的前 20 年,制造业将仍然是我国国民经济增长的主要来源,因此需要大批综合素质高、能力强的机械类专业人才。

另外,我国高等教育已从精英型教育阶段进入了大众型教育阶段,实现了高等教育的历史性的跨越式发展,技术的进步和社会的发展也对高等院校机械工程教育的人才培养提出了新的要求。

为此,中国科学院教材建设专家委员会和科学出版社组织我国机械工程领域的中国科学院院士、教育部教学指导委员会成员、教学名师以及经验丰富的专家教授组成编委会,共同组织编写了这套《中国科学院机械工程系列规划教材》,以适应我国高等机械工程教育事业的发展,更好地实现机械工程类专业人才的培养目标,在规模上、素质上更好地满足我国机械科学技术和机械工业发展的需要,为建设创新型国家做出贡献。

本套教材主要有以下几方面的特点:

1. 适应多层次的需要。本套教材依据教育部相关教学指导委员会制定的最新专业规范和机械基础课程最新的教学基本要求,同时吸取不同层次学校教师的意见,进行了教材内容的编排与优化,能够满足各类型高校学生的培养目标。

2. 结构体系完备。各门课程的知识之间相互衔接,以便学生完整掌握学科基本概念、基本理论,了解学科整体发展趋势。本套教材除主教材外,还配套有辅导书、多媒体课件、习题集及网络课程等。

3. 作者经验丰富。参加本套教材编写的人员不少来自相关国家重点学科、国家机械教学基地的院校,有些还是国家级、省部级教学成果奖参加人,国家级、省级精品课程建设负责人以及相关院校的骨干教师代表。

4. 理论与实际相结合,加强实践教学。在达到掌握基本理论、基本知识、基本技能的教學要求前提下,注重例题、设计实践和实验教学,着力于学生分析问题能

力、创新能力和实际动手能力的培养。

另外,为了保证本套教材的质量,编委会聘请国内知名的同行专家对教材进行了审定。

我们还将根据机械科学与工程学科发展的战略要求,对本套教材不断补充、更新,以保持本套教材的系统性、先进性和适用性。

我们热忱欢迎全国同行以及关注机械科学与工程教育、教学及教材建设的广大有识之士对我们的工作提出宝贵意见和建议,共同为我国机械工程教育的发展而努力。

中国科学院院士



2006年5月

前 言

机械原理是高等院校机械类专业重要的专业基础课之一,这门课程对机械专业的学生十分重要。为了使学生学习好机械原理这门课程,培养他们良好的创新设计能力,并为学习后续课程打下坚实的基础,我们编写了《机械原理学习指导与习题解答》一书。

全书与《机械原理》(李树军主编,科学出版社)教材相对应,共 14 章。第 1 章绪论对本课程作一个概要的介绍,使学生对整个课程的体系以及内容有所了解,并为学生学习机械原理课程提供了指导性意见。第 2~13 章主要内容包括知识结构、基本要求、重点与难点、典型例题、思考题、习题、习题参考答案。其中,知识结构部分帮助学生理顺知识体系;基本要求部分使学生对本章的要求有一个清晰的了解;重点与难点部分对学生应掌握的基本概念、基本公式、基本理论、基本方法进行了总结;典型例题部分注重解题思路、方法和技巧;思考题部分提供了消化本章主要概念、公式、理论的一个平台,让学生积极思考,将知识融会贯通;习题部分的选择考虑学生掌握知识的梯度变化,涵盖了不同层次的习题;习题参考答案部分给出了参考答案或提示。第 14 章给出 4 套自测题及参考答案。

本书由东北大学王丹(第 3、8、14 章部分内容及第 1、4、5 章)、李翠玲(第 14 章部分内容及第 2、6 章)、王淑仁(第 7 章),沈阳工业大学刘杰(第 3 章部分内容及第 12 章),辽宁石油化工大学王晓华(第 8 章部分内容),沈阳理工大学李金泉(第 9 章)、邵伟平(第 11 章)、赵满平(第 13 章),辽宁工业大学熊晓航(第 10 章)共同编写而成。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏或欠妥之处,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2009 年 4 月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 知识结构	1
1.2 基本要求	1
1.3 重点	1
1.4 思考题	2
第 2 章 机构的组成原理及结构分析	3
2.1 知识结构	3
2.2 基本要求	3
2.3 重点与难点	4
2.4 典型例题	6
2.5 思考题	10
2.6 习题	10
2.7 习题参考答案	16
第 3 章 平面机构的运动分析	21
3.1 知识结构	21
3.2 基本要求	21
3.3 重点与难点	21
3.4 典型例题	24
3.5 思考题	30
3.6 习题	31
3.7 习题参考答案	34
第 4 章 平面机构的动态静力分析	39
4.1 知识结构	39
4.2 基本要求	39
4.3 重点与难点	39

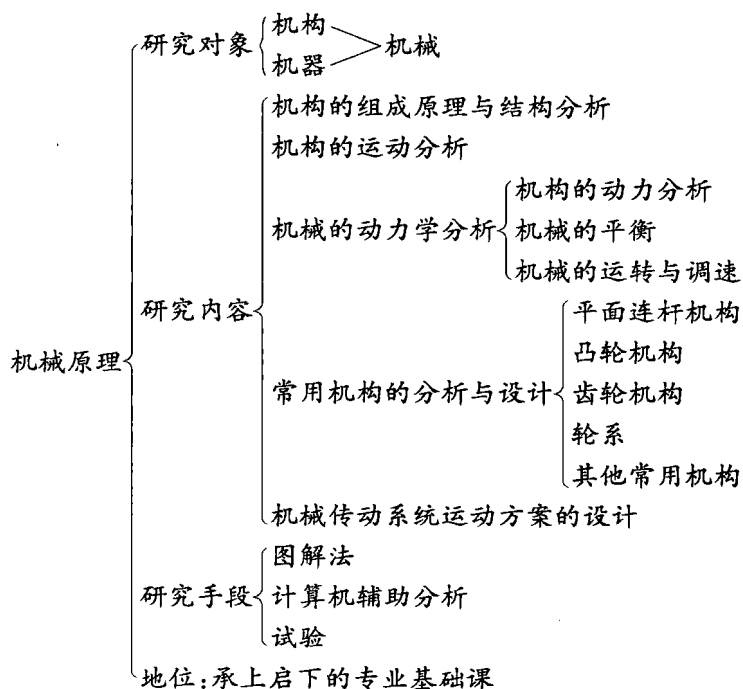
4.4	典型例题	41
4.5	思考题	46
4.6	习题	47
4.7	习题参考答案	48
第5章	平面连杆机构及其设计	51
5.1	知识结构	51
5.2	基本要求	51
5.3	重点与难点	52
5.4	典型例题	56
5.5	思考题	63
5.6	习题	63
5.7	习题参考答案	68
第6章	凸轮机构及其设计	79
6.1	知识结构	79
6.2	基本要求	79
6.3	重点与难点	79
6.4	典型例题	82
6.5	思考题	90
6.6	习题	90
6.7	习题参考答案	93
第7章	齿轮机构及其设计	97
7.1	知识结构	97
7.2	基本要求	97
7.3	重点与难点	97
7.4	典型例题	99
7.5	思考题	106
7.6	习题	106
7.7	习题参考答案	108
第8章	轮系及其设计	118
8.1	知识结构	118
8.2	基本要求	118

8.3 重点与难点	119
8.4 典型例题	120
8.5 思考题	124
8.6 习题	125
8.7 习题参考答案	129
第9章 其他常用机构	135
9.1 知识结构	135
9.2 基本要求	135
9.3 重点与难点	136
9.4 典型例题	137
9.5 思考题	139
9.6 习题	139
9.7 习题参考答案	140
第10章 平衡	141
10.1 知识结构	141
10.2 基本要求	141
10.3 重点与难点	141
10.4 典型例题	142
10.5 思考题	144
10.6 习题	144
10.7 习题参考答案	146
第11章 机械的运转及速度波动的调节	149
11.1 知识结构	149
11.2 基本要求	149
11.3 重点与难点	149
11.4 典型例题	151
11.5 思考题	157
11.6 习题	157
11.7 习题参考答案	161
第12章 机械中的摩擦与机械效率	172
12.1 知识结构	172

12.2	基本要求	172
12.3	重点与难点	172
12.4	典型例题	176
12.5	思考题	177
12.6	习题	178
12.7	习题参考答案	181
第 13 章	机械系统运动方案设计	186
13.1	知识结构	186
13.2	基本要求	186
13.3	重点与难点	186
13.4	典型例题	190
13.5	思考题	194
13.6	习题	195
13.7	习题参考答案	196
第 14 章	自测题	197
	自测题 1	197
	自测题 2	200
	自测题 3	202
	自测题 4	205
	参考答案	209
	参考文献	220

第 1 章 绪 论

1.1 知 识 结 构



1.2 基 本 要 求

明确本课程研究对象、研究内容、研究手段,了解本课程的性质、特点,逐步培养和提高学生分析问题和解决问题的能力。

1.3 重 点

机械原理的研究对象是机构与机器。机构是具有确定运动的实物组合体。机

器由机构组成,可以完成有用功或完成能量转换。机构与机器统称为机械。

机械原理是一门专业基础课,它不同于专业课程,如冶金机械、纺织机械。这些专业课程专门研究特殊机械的结构、工作原理及设计方法,它们离不开特定的工艺目的。而机械原理研究各种机械的一般共性问题,如机构的组成原理、机构运动学、机器动力学等,它是进一步学习其他专业课的基础。

机械原理研究的内容与生活 and 实际生产有着非常密切的联系。在学习过程中应随时注意观察日常生活中遇到的各种机构和机器。注意用书本上学到的基本原理和基本方法去解释和分析身边的机构和机器。逐步培养对事物的分析、判断和决策能力。

机械原理中有些问题的答案不是唯一的,如同工程上有些问题的解答不是唯一的,只能用优劣来评价。

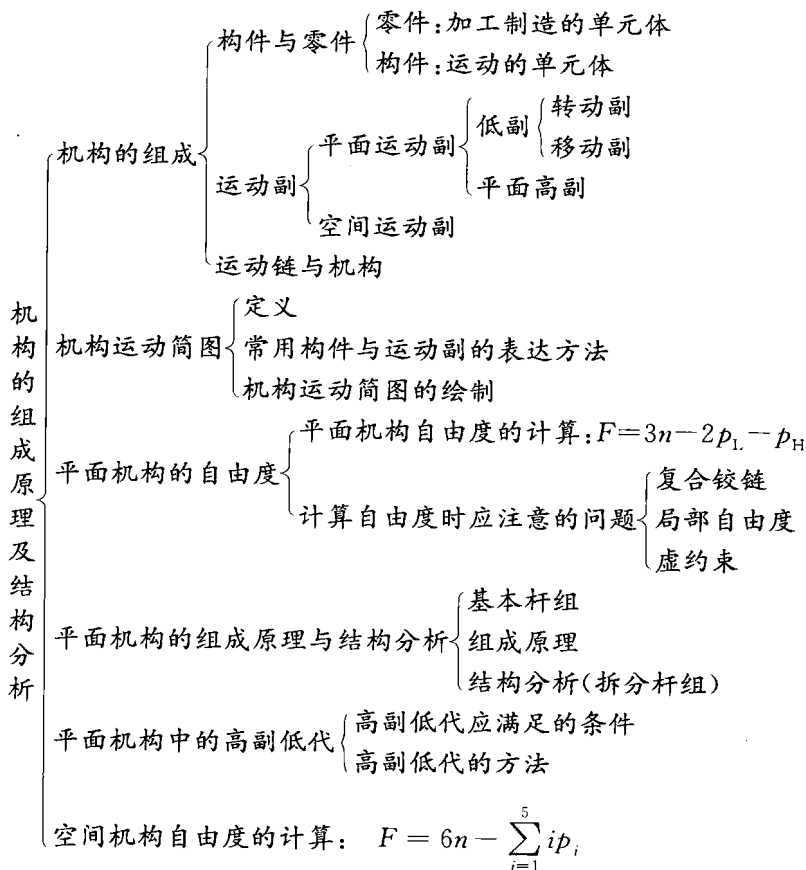
学习过程中要注重实验环节,培养自己的动手能力。对机构的分析主要以计算机辅助分析为手段,应结合本课程提高使用计算机编程运算的能力。

1.4 思考题

- (1) 机械原理的研究对象是什么?
- (2) 什么是机构? 什么是机器? 什么是机械?
- (3) 机械原理的主要研究内容是什么?
- (4) 机械原理的主要研究手段是什么?
- (5) 如何学好机械原理,你有什么打算? 你觉得应该注意什么?

第 2 章 机构的组成原理及结构分析

2.1 知识结构



2.2 基本要求

- (1) 掌握构件、运动副、运动链及机构等基本概念。
- (2) 能够将比较简单的实际机构绘制成机构运动简图。

- (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。
- (4) 掌握机构的组成原理和结构分析的方法,了解高副低代的方法。
- (5) 了解空间机构自由度的计算。

2.3 重点与难点

本章的重点是有关机构组成中的构件、运动副、运动链及机构等基本概念,机构运动简图的绘制、平面机构自由度的计算、机构具有确定运动的条件以及机构的结构分析。本章难点是机构中虚约束的判别问题。

2.3.1 基本概念

(1) 构件。构件是机构运动的单元体,而零件是制造的单元体;构件既可以是一个零件,也可以由几个零件刚性连接而成。

(2) 运动副。凡两构件直接接触而又能做一定相对运动的可动连接称为运动副。运动副按接触形式分为高副(即点或线接触的运动副)和低副(即面接触的运动副)。又可按两构件相对运动的形式将平面运动副中的低副分为转动副、移动副。此外还可以按接触部分的几何形状将空间运动副分为球面高副、柱面副、圆柱副、螺旋副、球面副及球销副等。

(3) 运动链。两个以上的构件通过运动副连接而成的相对可动的系统称为运动链。运动链分为闭链和开链。

(4) 机构。将运动链中的一个构件加以固定,而让另一个(或少数几个)构件按给定运动规律相对于该固定构件运动,若其余构件随之做确定的相对运动,则该运动链成为机构。

2.3.2 机构运动简图及其绘制

根据机构的运动尺寸,按一定的比例定出各运动副的位置,再用标准中规定的运动副符号和简单的线条,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运动副的种类和数目以及机构的运动尺寸有关,而与构件的外形尺寸等因素无关,因而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) 搞清楚机械的实际构造和运动情况,找出机架、主动件和执行部分,顺着运动传递的路线,看看运动是怎样从主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) 选择一个合适的投影面。一般可以选择机械的多数构件的运动平面为投

影面,必要时可以就机械的不同部分选择两个或两个以上的投影面,然后展到同一图面上。

(3) 机构运动简图不同于装配图,它具有“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。

2.3.3 平面机构自由度的计算

机构的自由度就是机构具有确定相对运动时所需要的独立运动的数目。要使机构具有确定运动必须满足的条件是:机构自由度大于零且机构的主动件数目应等于机构的自由度。

计算机构自由度时,应注意以下几点。

(1) 复合铰链。它是两个以上构件在同一处以转动副相连时组成的运动副。准确识别复合铰链的关键是要分辨哪几个构件在同一处形成了转动副。

(2) 局部自由度。它是机构中某些构件所具有的自由度,它仅仅局限于该构件本身,而并不影响其他构件的运动。局部自由度常发生在为减少高副磨损而将滑动摩擦变成滚动摩擦所增加的滚子处。在计算机构自由度时,可将产生局部运动的构件与其相连的构件视为焊接在一起,或从按正常方法计算自由度的结果中减去局部自由度,以达到去除构件中局部自由度的目的。

(3) 虚约束。它是机构中不产生实际约束效果的重复约束。在计算机构自由度时,可将引入虚约束的构件及其运动副除去不计,然后再用自由度公式进行计算。

要正确判断机构中存在的虚约束,应注意以下几点。

(1) 搞清虚约束的概念。在机构中,两构件构成运动副所引入的约束是用来限制某些相对运动的。但在机构中,某些运动链带入的约束可能与机构所受的其他约束相重复,即对相对运动的限制产生了重复,因而对机构运动实际上起不到独立约束作用,这种约束就是虚约束。

(2) 了解机构在什么情况下存在虚约束。虚约束常发生在以下场合:

① 轨迹重合的情况。如果转动副连接的是两构件上运动轨迹相重合的点,则该连接将引入一个虚约束。

② 距离恒定的情况。机构在运动过程中,若两构件上某两点间距离始终保持不变,如用双副构件将此两点连接,则引入一个虚约束。

③ 两构件间构成多个运动副,且满足特定的条件。在这些情况下,其中只有一个运动副起实际约束作用,其余运动副所提供的约束均为虚约束。

④ 机构中对运动不起独立作用的对称部分。

综上所述,机构中的虚约束都是在一些特定的几何条件下出现的。因此要注意根据给定机构的特定几何条件来加以分析判定。要特别强调的是,如果这些几何条件不满足,则所引入的约束不再是虚约束,而变成了有效的约束,此时机构也

就不能运动了。

2.3.4 机构组成原理及结构分析

(1) 基本杆组。它是自由度为零且不能够再拆的构件组。最常见的基本杆组是Ⅱ级杆组和Ⅲ级杆组。

(2) 机构的级别。它是从机构中所含杆组的最高级别来定义的。同一机构，当取不同构件为主动件时，机构的级别有可能会发生变化。

(3) 结构分析方法。机构结构分析的过程又称为拆杆组。为了正确地拆除杆组，应遵循下述原则：

① 先拆下主动件和机架。

② 从与主动件相连的运动副开始，向离机架最近的运动副方向搜索，找出外运动副运动参数已知的Ⅱ级杆组或Ⅲ、Ⅳ级杆组。

③ 从与已拆下的前一级杆组相连的运动副开始，重复②的过程，直至拆出全部基本杆组。

这里所谓离机架“最近”，不是指在空间距离上的最近，而是指在传动关系和传动路线上离机架最近。此外，上述拆杆组的方法与机构运动分析过程中杆组的调用顺序一致，通常无须试拆过程，可一次将机构正确拆分为各基本杆组。

2.4 典型例题

【2-1】 如图 2-1(a)所示为一液压泵机构，试绘制其机构运动简图，并计算其自由度。

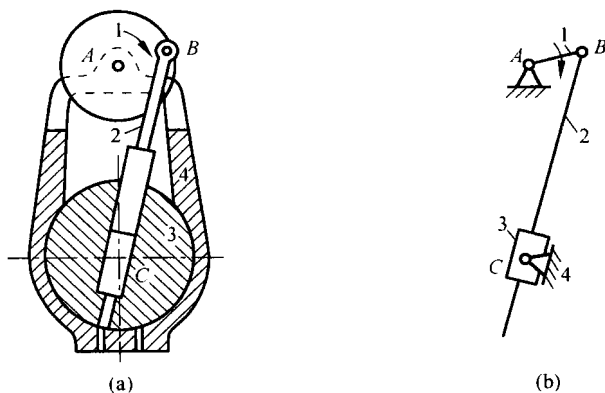


图 2-1

解 由图可以看出，视图面就是该机构各构件的运动平面。故选作运动简图