

上海市本科教育高地建设
机械制造及其自动化系列教材

机械设计基础习题例解

沙 玲 编著

清华大学出版社

上海市本科教育高地建设
机械制造及其自动化系列教材

机械设计基础习题例解

沙 玲 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是“机械设计基础”课程的学习辅导书,也是各类高等工科大学“机械设计基础”课程学习的辅助教材。考虑到各高校学生学习的需要,编写中同时兼顾了全国目前几种比较常用的“机械设计基础”课程教材。内容包括:基本内容及学习要求、重点和难点、典型题例解和习题四部分。目的是帮助读者进一步理解本课程的基本内容,明确学习的基本要求,掌握重点、难点所在,通过例题分析及习题练习加深理解、巩固教材内容,掌握本门课程的基本理论、基础知识、基本方法和基本技能,从而达到良好的学习效果。

本书可供机械类和近机类专业学生在学习“机械设计基础”课程时使用,也可供准备参加专科升本科考试的学生以及电视大学、函授大学、夜大等各相关专业的学生学习使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础习题例解/沙玲编著. —北京:清华大学出版社,2009.1
(上海市本科教育高地建设机械制造及其自动化系列教材)
ISBN 978-7-302-18973-2

I. 机… II. 沙… III. 机械设计—高等学校—教学参考资料 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 185920 号

责任编辑:庄红权 张秋玲

责任校对:刘玉霞

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:11.5

字 数:275 千字

版 次:2009 年 1 月第 1 版

印 次:2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:22.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:032041-01

上海市本科教育高地建设 机械制造及其自动化系列教材编写委员会

顾 问 陈关龙

主 任 程武山

副主任 何法江

编 委 王明红 蔡颖玲 陆 宁 陆 文

秘 书 周玉凤

序言



进入 21 世纪以来,我国制造业得到了飞速发展。中国已成为世界制造业大国,正面临从制造业大国向制造业强国转型的关键时期。培养大批适应中国机械工业发展的优秀工程技术人员,是实现这一重大转变的关键。

遵循高等教育、人才培养和社会主义市场经济的规律,围绕《上海优先发展先进制造业行动方案》,紧贴区域经济和社会需求的发展,上海工程技术大学机械工程学院抓住“上海市机械制造及其自动化本科教育高地建设”这一机遇,把握先进制造业和现代服务业互补、融合的趋势,把打造工程本位的复合应用型人才培养基地作为高地建设的核心,把培养具有深厚的科学理论基础和一定的工程实践能力及创新能力的优秀的复合应用型人才——生产一线工程师,作为高地建设的战略发展目标。

正是基于上述考虑,本编写委员会联合清华大学出版社推出“上海市本科教育高地建设机械制造及其自动化系列教材”,希望根据“以生为本,以师为重,以教为基,以训为媒,突出工程实践”的教育思想理念和当前的科技水平和社会发展的需求,精心策划和编写本系列教材,培养出更多视野宽、基础厚、素质高、能力强和富于创造性的工程技术人才。

本系列教材的编写,注重文字通顺,深入浅出,图文并茂,表格清晰,符合国家与部门标准。在编写时,作者重视基础性知识,精选传统内容,使传统内容与新知识之间建立起良好的知识构架;重视处理好教材各章节间的内部逻辑关系,力求符合学生的认识规律,使学习过程变得顺理成章;重视工程实践与教学实验,改变原教材过于偏重理论知识的倾向,力图引导学生通过实践训练,发展自己的工程实践能力;倡导创新实践训练,引导学生发现问题、提出问题、分析问题和解决问题,培养创新思维能力和团队协作能力。

本系列教材的编写和出版,是上海市本科教育高地建设课程和教材改革中的一种尝试,教材中一定会存在不足之处,希望全国同行和广大读者不断提出宝贵意见,使我们编写出的教材能更好地为教育教学改革服务,更好地为培养高质量的人才服务。

陈关龙

2008 年 12 月

前言



随着机械化生产规模的日益扩大,除机械制造部门外,在动力、采矿、冶金、石油、化工、轻纺、食品等许多生产部门工作的工程技术人员,都会经常接触各种类型的通用机械和专用机械。他们必须具备一定的机械基础知识。因此,机械设计基础如同机械制图、电工学、计算机应用技术一样,是高等工科院校的一门重要的技术基础课程。它综合运用理论力学、材料力学、金属工艺学、金属材料及热处理、公差及技术测量和机械制图等先修课程的知识,有效地解决通用机械零件的设计问题,进行工程技术人员的基本训练,并为学生进一步学习专业课程和知识打下技术基础。

编写本书的目的是帮助学生更好地学习“机械设计基础”课程的基本内容,明确重点,引导思路,从而取得更好的学习效果,同时培养学生的设计能力和创新能力。针对在机械产品设计中具有典型性和实践性的问题,通过典型题例解及分析说明,帮助广大学生较好地解决机械设计过程中遇到的各种问题。

本书各章主要包括基本内容及学习要求,重点和难点,典型题例解和习题四部分内容。其中,“基本内容及学习要求”简单介绍了该部分的内容,指出该部分应学习的基本内容和学习要求,同时详细说明了哪些属于必须掌握的基本内容,哪些属于扩大的知识面,以使她能集中精力理解和掌握本课程的主要内容。“重点和难点”主要是对关键问题的必要解释和深入分析,针对学习中易出现的问题及错误,做了一些简单的提示,以使她能较全面、深入地理解主要问题。“典型题例解”是对课程教学例题的扩展和补充,并力求在基本理论的运用、解决问题思路、设计思路等方面给学生以更多的启示;同时,部分例题还对解题方法和设计计算的结果进行了总结和讨论,通过总结其规律性的东西,开阔学生视野,丰富学生解决问题的思路和设计思路。“习题”部分概括了本章的主要内容,可供读者在复习总结时参考。

本书采用我国最新国家标准和资料,并采用我国法定计量单位。

本书可作为各类高等工科院校“机械设计基础”课程的辅助学习教材,可供机械类和近机类专业学生在学习本课程时使用,也可供准备参加专科升本科考试的学生以及电视大学、

函授大学、夜大等各相关专业的学生学习使用。

本书由沙玲主编。全书承蒙上海工程技术大学机械设计教研室各位教师的帮助,他们提出了很多宝贵意见,在此致以衷心感谢。

由于编者水平有限,本书难免有不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

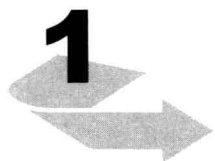
2008 年 12 月

目录

1	概论	1
1.1	基本内容及学习要求	1
1.2	重点和难点	1
1.3	习题	2
2	平面机构的自由度和速度分析	4
2.1	基本内容及学习要求	4
2.2	重点和难点	4
2.3	典型题例解	5
2.4	习题	9
3	平面连杆机构	14
3.1	基本内容及学习要求	14
3.2	重点和难点	14
3.3	典型题例解	15
3.4	习题	19
4	凸轮机构	26
4.1	基本内容及学习要求	26
4.2	重点和难点	26
4.3	典型题例解	27
4.4	习题	31
5	间歇运动机构	42
5.1	基本内容及学习要求	42
5.2	重点和难点	42
5.3	习题	42

6	机械运转的调速与平衡	46
6.1	基本内容及学习要求	46
6.2	重点和难点	47
6.3	典型题例解	47
6.4	习题	48
7	齿轮传动	50
7.1	基本内容及学习要求	50
7.2	重点和难点	51
7.3	典型题例解	51
7.4	习题	58
8	轮系	72
8.1	基本内容及学习要求	72
8.2	重点和难点	72
8.3	典型题例解	73
8.4	习题	76
9	蜗杆传动	83
9.1	基本内容及学习要求	83
9.2	重点和难点	83
9.3	典型题例解	84
9.4	习题	86
10	带传动和链传动	94
10.1	基本内容及学习要求	94
10.2	重点和难点	95
10.3	典型题例解	95
10.4	习题	100
11	连接	110
11.1	基本内容及学习要求	110
11.2	重点和难点	111
11.3	典型题例解	111
11.4	习题	117
12	轴	126
12.1	基本内容及学习要求	126
12.2	重点和难点	126
12.3	典型题例解	126

12.4 习题	130
13 滑动轴承	139
13.1 基本内容及学习要求	139
13.2 重点和难点	139
13.3 典型题例解	139
13.4 习题	144
14 滚动轴承	148
14.1 基本内容及学习要求	148
14.2 重点和难点	148
14.3 典型题例解	148
14.4 习题	155
15 联轴器、离合器和制动器	162
15.1 基本内容及学习要求	162
15.2 重点和难点	162
15.3 典型题例解	162
15.4 习题	164
16 弹簧	167
16.1 基本内容及学习要求	167
16.2 重点和难点	167
16.3 典型题例解	167
16.4 习题	170
参考文献	172



概 论

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本设计理论和计算方法。

本课程包括两个基本部分：①机械原理部分，着重研究常用机构（如平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等）的结构和运动特性，以及飞轮设计和回转件的平衡等；②机械零件部分，着重研究通用零件的工作原理、结构、基本设计理论和计算方法。

1.1 基本内容及学习要求

1. 基本内容

这部分内容主要涉及“机械设计基础”课程的研究对象、课程性质和任务；机器和机构、构件和零件、通用零件和专用零件等概念；机械设计的要求，零件失效的原因，机械零件的设计步骤；机械零件的强度；机械零件的接触强度；机械零件的耐磨性；机械制造常用材料及其选择；机械零件的工艺性及标准化。

2. 学习要求

- (1) 弄清机器和机构、构件和零件、通用零件和专用零件等概念；
- (2) 掌握机械零件应满足的要求、零件承载能力的判定条件和有关基础知识；
- (3) 了解和掌握机械零件常用材料及选用原则；
- (4) 掌握失效的概念。

1.2 重点和难点

- (1) 失效的概念；
- (2) 应力类型及机械零件的强度；
- (3) 零件承载能力的判定条件。

1.3 习 题

1.3.1 简答题

1. 机构与机器有什么区别?
2. 机器应具有什么特征? 机器通常由哪三部分组成? 各部分的功能是什么?
3. 构件和零件有什么区别?
4. 机械零件常见的失效形式有哪些?
5. 在一般机械中, 静强度与疲劳强度相比哪一种更普遍? 为什么?
6. 为什么说满足强度条件的零件不一定满足刚度条件, 而满足刚度条件的零件一般均满足强度条件?
7. 自行车轮钢丝的螺纹端常常会断裂, 它属于何种失效形式? 应按何种强度设计?

1.3.2 判断题

1. 构件都是可动的。 ()
2. 机器的传动部分都是机构。 ()
3. 互相之间能作相对运动的物件是构件。 ()
4. 只从运动方面讲, 机构是具有确定相对运动构件的组合。 ()
5. 机构的作用只是传递或转换运动的形式。 ()
6. 机器是构件之间具有确定的相对运动, 并能完成有用的机械功或实现能量转换的构件的组合。 ()
7. 机构中的主动件和被动件都是构件。 ()

1.3.3 选择题

1. $\sigma_a = 0$ (或 $\sigma_a \approx 0$) 的应力可视为_____应力。
A. 静 B. 脉动循环 C. 对称循环
2. 交变应力作用下, 材料的极限应力应取_____应力。
A. σ_s B. σ_b C. σ_r
3. 一般含碳量(质量分数)高于_____者为铸铁。
A. 0.2% B. 2% C. 0.02%
4. 对于长期双向传动的齿轮, 其齿根弯曲应力为_____应力。
A. 静 B. 脉动循环 C. 对称循环
5. $\sigma_m = \sigma_a$ 的应力视为_____应力。
A. 静 B. 脉动循环 C. 对称循环
6. 机器运转时考虑到零件受到各种附加载荷, 故零件强度计算中的载荷应取_____。

A. 平均载荷

B. 计算载荷

C. 名义载荷

7. 在计算许用应力时,在静应力作用下,脆性材料取材料的_____作为材料的极限应力,塑性材料取材料的_____作为材料的极限应力;在变应力作用下,取材料的_____作为材料的极限应力。

A. 屈服极限 σ_s

B. 强度极限 σ_b

C. 疲劳极限 σ_r

2

平面机构的自由度和速度分析

机构是一个构件系统,为了传递运动和力,机构各构件之间应具有确定的相对运动。但任意拼凑的构件系统不一定能发生相对运动;即使能够运动,也不一定具有确定的相对运动。讨论机构满足什么条件,构件间才具有确定的相对运动,对于分析现有机构或设计新机构都是很重要的。

在研究机械工作特性和运动情况时,常常需要了解两个回转件间的角速比、直移构件的运动速度或某些点的速度变化规律,因而有必要对机构进行速度分析。而实际机构的外形和结构都很复杂,为了便于分析研究,在工程设计中,通常都用简单线条和符号绘制的机构运动简图来表示实际机械。工程技术人员应当熟悉机构运动简图的绘制方法。

2.1 基本内容及学习要求

1. 基本内容

这部分内容主要涉及平面运动副的类型、平面机构运动简图的绘制、平面机构自由度的计算和计算自由度时应注意的问题、平面机构具有确定运动的条件,以及速度瞬心的概念及其求法。

2. 学习要求

- (1) 了解机构的组成,搞清运动副、约束和自由度的概念;
- (2) 能绘制常用平面机构的运动简图;
- (3) 能计算平面机构的自由度;
- (4) 掌握平面机构具有确定运动的条件;
- (5) 掌握速度瞬心的求法以及在机构速度分析中的应用。

2.2 重点和难点

- (1) 能看懂和绘制机构运动简图;
- (2) 会计算平面机构的自由度;
- (3) 能识别和处理机构自由度计算中的虚约束;

(4) 会求速度瞬心。

2.3 典型题例解

[例 2-1] 计算图 2-1 所示机构的自由度,并判定该机构是否具有确定运动。

解: 在计算机构自由度之前,首先需要判断该机构中是否存在复合铰链、局部自由度、虚约束等需要注意的问题。在该机构中需要注意:

(1) 铰链 C 处有 2,3,4 三个构件汇交,同时在一处用转动副相连,构成复合铰链,因此 C 处有两个转动副和两个移动副;

(2) 铰链 E 处虽有 5,6,7,8 四个构件汇交,但它构成两个移动副和一个回转副,故不存在复合铰链。

该机构中有 7 个活动构件,即 $n=7$, A, B, D 处各有 1 个转动副,故 $P_L=10$ 。由自由度计算公式得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$$

该机构具有一个原动件(曲柄 1),计算所得自由度与机构原动件数相等,故该机构具有确定运动。

分析说明: 这道题目中一定要明确复合铰链的概念: 两个以上构件同时在一处用转动副相连接就构成复合铰链。如果不掌握这个概念,计算时就会出错。同时需要熟练掌握判定机构具有确定运动的条件。

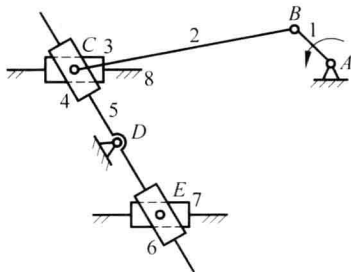


图 2-1

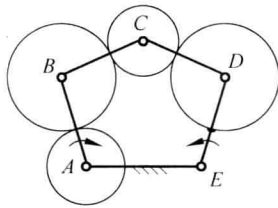


图 2-2

[例 2-2] 计算图 2-2 所示机构的自由度,并判定机构是否具有确定运动。

解: 在这个机构中,需要注意: A, B, C 处都为复合铰链, B, C 处很明显,但对 A 处,大家很难理解。构件 AE 是固定构件,怎么可能在 A 处构成复合铰链呢? 由于齿轮、凸轮等构件习惯于用外形来表示,简图上看不出构件汇交,故这种复合铰链容易被忽略。故有

$$n = 7, \quad P_L = 8, \quad P_H = 3$$

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 8 - 3 = 2$$

该机构具有两个原动件(AB, ED),计算所得自由度与机构原动件数相等,故该机构具有确定运动。

分析说明: 这道题目中有一个隐含的复合铰链,找出这个复合铰链就会计算出正确的自由度,否则就容易出错,这也是在计算机构自由度时尤其需要注意的问题。不能漏掉任何一个计算自由度需要注意的问题。

〔例 2-3〕 计算图 2-3 所示机构的自由度。

解：在这个机构中需要注意：C、G 为复合铰链；I 处为局部自由度，故构件 10 和 11 可看作是一个构件；构件 7、8、9 属于结构重复，引入了虚约束。因此，实际计算时构件 7、8、9 都不能计入活动构件，而且由它们所带来的运动副也不能计入机构运动副。同时，M 也为虚约束。故有

$$n = 9, \quad P_L = 12, \quad P_H = 2$$

可得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 9 - 2 \times 12 - 2 = 1$$

计算结果是该机构的自由度为 1。

分析说明：这道题目比较全面，它将自由度计算中需要注意的三个问题全部涉及了，最关键的是要识别出机构中构件 7、8、9 属于结构重复。在计算含有虚约束机构的自由度时，为了准确地计算自由度，应该先把运动简图中的虚约束去掉，然后再计算。所以，这里要把构件 7、8、9 以及它们所带来的运动副去掉后才能计算该机构的自由度，否则就会导致计算错误。

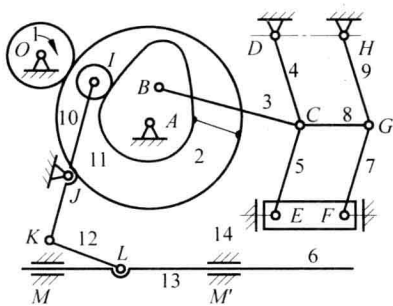


图 2-3

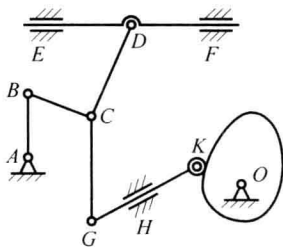


图 2-4

〔例 2-4〕 计算图 2-4 所示机构的自由度。

解：在这个机构中，需要注意：

(1) C 处为复合铰链，因为有 BC、CD、CG 三个构件在同一处通过转动副相连接，故这里有 2 个低副；

(2) 凸轮机构中的滚子与连杆的连接处 K 为局部自由度，这里的转动副不影响整个机构的运动和自由度计算，因此 K 处的运动副不能计入自由度计算；

(3) E 或 F 处为虚约束，因为它们是导路平行的移动副，在计算机构自由度时要去掉一个移动副。

考虑上述三个因素后，有

$$n = 7, \quad P_L = 9, \quad P_H = 1$$

可得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$$

计算得该机构的自由度为 2。

分析说明：这道题目看似简单，其实它涉及得也比较全面，将自由度计算中需要注意的三个问题都包括进去了，不过这里的复合铰链、局部自由度、虚约束都比较明显，能识别出

来,如果这部分内容掌握得比较扎实,就不容易出错。

[例 2-5] 计算图 2-5 所示机构的自由度。

解: 在计算该机构自由度时需要注意:

(1) 图中画了剖面线的三角形 HIJ 是一个构件,这是课程中所讲述的构件的表示方法: 一般情况下,参与组成三个转动副的构件可以用三角形表示。所以这里在计算活动构件数时 HIJ 算作一个构件,但它有三个转动副。

(2) C 处有复合铰链,因为构件 2,3,4 在此处用转动副相连接。

(3) G 或 F 处为虚约束,因为它们是导路平行的移动副,在计算机构自由度时要去掉一个移动副。

(4) H 处为局部自由度,滚子绕其中心的转动是一个局部自由度,在计算机构自由度时要排除掉。

考虑上述四个因素后,有

$$n = 8, \quad P_L = 11, \quad P_H = 1$$

计算可得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 8 - 2 \times 11 - 1 = 1$$

即该机构的自由度为 1。

分析说明: 这道题目包括的内容也比较全面,它将自由度计算中需要注意的三个问题全部涉及了,在计算时大家要注意这些问题,正确地找出活动构件、复合铰链、局部自由度及虚约束,从而正确地计算机构自由度。这里还有一个需要注意的就是关于构件的表示方法: 一般情况下,参与组成三个转动副的构件可以用三角形表示。为了表明三角形是一个刚性整体,常在三角形内画上剖面线或在三个角加上焊接标记,如这道题目里的构件 HIJ 就是一个构件,但它有三个转动副。

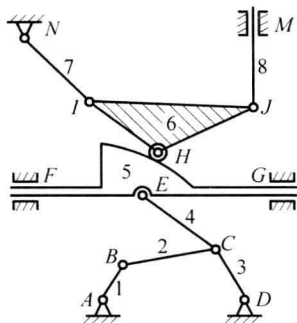


图 2-5

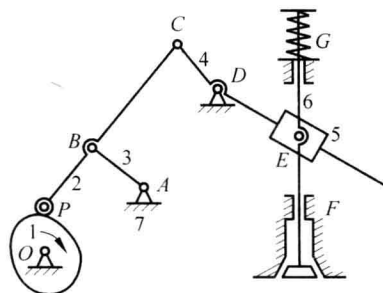


图 2-6

[例 2-6] 计算图 2-6 所示机构的自由度,并判定机构是否具有确定运动。

解: 在计算该机构自由度时需要注意:

(1) P 处的滚子为局部自由度,计算时要予以排除;

(2) G 或 F 处存在虚约束,因为 G, F 为导路平行的移动副,计算自由度时也要注意。

故有

$$n = 6, \quad P_L = 8, \quad P_H = 1$$

计算可得自由度为