全国高等教育自学考试指定教材

机 械 类 专 业

机械设计基础
自 学 辅 导

全国高等教育自学考试指导委员会　组编
丁洪生　廉以智　主编

机 械 工 业 出 版 社

本书是根据1999年3月全国高等教育自学考试指导委员会审定的《机械设计基础自学考试大纲》和丁洪生主编的《机械设计基础》（全国高等教育自学考试指定教材）编写的。

本书按章提出了主要内容和学习要求、重点难点的提示和辅导、典型例题分析和复习思考题；在个别章节后附有附表；书后还附有教材习题参考答案。旨在方便读者自学，帮助读者更好地理解和掌握机械设计基础的基本概念、基本理论和基本设计的方法。

本书可作为自学考生学习《机械设计基础》的辅助教材以及社会助学教师的教学参考书，也可作为其他相关专业和工程技术人员学习机械设计基础的辅导读物。

图书在版编目（CIP）数据

机械设计基础自学辅导/丁洪生，廉以智主编. —北京：机械工业出版社，2001.12
ISBN 7-111-09698-3

Ⅰ.机… Ⅱ.①丁…②廉… Ⅲ.机械设计-自学参考资料 Ⅳ.TH122

中国版本图书馆CIP数据核字（2001）第092059号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
责任编辑：周国萍 版式设计：冉晓华 责任校对：张莉娟
封面设计：鞠 杨 责任印制：郭景龙
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002年1月第1版·第1次印刷
787mm×1092mm 1/16·7.75印张·189千字
0 001—5 000册
定价：12.00元

本书如有质量问题，请与当地教材供应部门联系

前　言

本自学辅导书是根据1999年3月全国高等教育自学考试指导委员会审定的《机械设计基础自学考试大纲》和丁洪生主编的《机械设计基础》（全国高等教育自学考试指定教材）编写的。本自学辅导书旨在帮助自学考生掌握《机械设计基础》教材中的基本内容和基本要求，明确重点，指引思路，对教材中的难点和关键问题加以必要解释，或从不同角度，采用不同方法加以探讨，使自学考生能较全面深入地理解教材中的主要问题。

本辅导书中各章节以“主要内容和学习要求、重点难点的提示和辅导、典型例题分析及复习思考题”4个方面对《机械设计基础》教材中的基本要求进行简要阐明，在个别章节后还附有附表。具体提出了《机械设计基础》教材中各章的重点和难点；学习时容易出现的问题和错误；通过典型例题分析，帮助学生巩固所学知识，掌握正确的解题思路和方法，提供解题规范；复习思考题是对《机械设计基础》教材习题的补充。总之，通过本书的辅导，尽可能帮助自学考生从各方面对《机械设计基础》课程内容加以理解。

本辅导书的章节顺序与《机械设计基础》教材完全相同，所用符号、术语也与《机械设计基础》教材一致，以便自学考生对照学习。本辅导书对插图和插表使用两套标记，《机械设计基础》教材中的相应插图和插表在本辅导书中仍记为图1-1和表1-1，而本辅导书中的插图和插表则记为图1.1和表1.1，请自学考生加以注意。

本书由丁洪生、廉以智主编。参加本书编写工作的人员还有杨梦辰、梁军、付铁、李金泉、王迪华、张州锋等。

由于编者水平所限，疏漏欠妥之处在所难免，恳请社会助学教师和自学考生批评指正。

编　者

2001.12

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　录

前言

第一章　机械设计基础概论 …… 1

一、主要内容和学习要求 …… 1

二、重点、难点的提示和辅导 …… 1

三、复习思考题 …… 3

第二章　平面机构运动简图和自由度 …… 5

一、主要内容和学习要求 …… 5

二、重点、难点的提示和辅导 …… 5

三、典型例题分析 …… 9

四、复习思考题 …… 10

第三章　平面连杆机构 …… 11

一、主要内容和学习要求 …… 11

二、重点、难点的提示和辅导 …… 11

三、典型例题分析 …… 14

四、复习思考题 …… 16

第四章　凸轮机构 …… 17

一、主要内容和学习要求 …… 17

二、重点、难点的提示和辅导 …… 17

三、典型例题分析 …… 22

四、复习思考题 …… 24

第五章　间歇运动机构 …… 25

一、主要内容和学习要求 …… 25

二、重点、难点的提示和辅导 …… 25

三、典型例题分析 …… 25

四、复习思考题 …… 26

第六章　联接 …… 27

一、主要内容和学习要求 …… 27

二、重点、难点的提示和辅导 …… 27

三、典型例题分析 …… 30

四、复习思考题 …… 31

附表 …… 32

第七章　挠性件传动 …… 41

一、主要内容和学习要求 …… 41

二、重点、难点的提示和辅导 …… 41

三、典型例题分析 …… 44

四、复习思考题 …… 45

第八章　齿轮传动 …… 47

一、主要内容和学习要求 …… 47

二、重点、难点的提示和辅导 …… 47

三、典型例题分析 …… 56

四、复习思考题 …… 59

第九章　蜗杆传动 …… 61

一、主要内容和学习要求 …… 61

二、重点、难点的提示和辅导 …… 61

三、典型例题分析 …… 63

四、复习思考题 …… 64

第十章　轮系及减速器 …… 65

一、主要内容和学习要求 …… 65

二、重点、难点的提示和辅导 …… 65

三、典型例题分析 …… 67

四、复习思考题 …… 69

第十一章　联轴器和离合器 …… 70

一、主要内容和学习要求 …… 70

二、重点、难点的提示和辅导 …… 70

三、典型例题分析 …… 70

四、复习思考题 …… 71

附表 …… 71

第十二章　轴 …… 75

一、主要内容和学习要求 …… 75

二、重点、难点的提示和辅导 …… 75

三、典型例题分析 …… 76

四、复习思考题 …… 76

附表 …… 76

第十三章　滑动轴承 …… 79

一、主要内容和学习要求 …… 79

二、重点、难点的提示和辅导 …… 79

三、典型例题分析 …… 80

四、复习思考题 …… 80

第十四章　滚动轴承 …… 81

一、主要内容和学习要求 …… 81

二、重点、难点的提示和辅导 …… 81
三、典型例题分析 …… 84
四、复习思考题 …… 87
附表 …… 88
第十五章　机械的调速和平衡 …… 103
一、主要内容和学习要求 …… 103
二、重点、难点的提示和辅导 …… 103
三、典型例题分析 …… 104
四、复习思考题 …… 106
第十六章　机械系统设计综述 …… 107
一、主要内容和学习要求 …… 107
二、重点、难点的提示和辅导 …… 107
三、典型例题分析 …… 107
四、复习思考题 …… 108
附表 …… 108
《机械设计基础》习题参考答案 …… 112
参考文献 …… 118

第一章　机械设计基础概论

一、主要内容和学习要求

（一）主要内容

通过对机械概念的介绍，引出本门课研究的主要内容、性质和任务；通过对机械设计基本要求的介绍，引出对机械零件设计的基本要求和设计思路。本章是本课程的序幕，也是本课程的总纲，对学好本门课程至关重要。

（二）学习要求

1）明确机械设计在四化建设中的重要作用；搞清机械零件和机构的设计在机械设计中的地位，以解决“为什么要学”本门课的问题。

2）对本门课所学内容应有一概括了解，明确学习本门课的最终任务，以了解本门课“学什么”的问题。

3）对本门课的特点和学习方法应有初步的理解，以解决“如何学”本门课的问题。

总之，通过本章学习，能使学员心中有数，积极主动地投入到本门课的学习中。

二、重点、难点的提示和辅导

1. 学习本章时应搞清的几个概念

机器是由哪几部分组成的；各部分的作用；本门课学习的主要内容是机器的哪部分；机器和机构的相同之处和根本区别；机构、构件和机械零件的区别和关系。

2. 本门课程的主要内容

本门课包括三部分内容：

（1）机械原理部分　这部分主要研究常用机构（连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、齿轮机构等）的组成和运动特性，以及机械动力学（机械的调速和平衡）的一些基础知识。它主要从运动的角度出发，研究机构运动的合理性，而基本不考虑各构件的强度和具体机构的结构设计问题。

（2）机械零件的设计部分　这部分包括联接件（螺纹联接、键联接、铆、焊、过盈等）传动件（带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动等）和支承件（轴、滚动轴承、滑动轴承联轴器、离合器等）。它主要从承载能力出发，同时考虑零件的结构、工艺等问题来研究一般机械中经常使用的通用零件（不包括巨型、微型、高速、高压、高温、低温等特殊条件下工作的零件）的具体设计问题。

（3）有关机械系统的设计部分　它主要将前面所学的有关知识落实到一部简单机械的设计问题上，是前面两部分内容的综合运用和提高。最后以实例说明，目的是引导学员将所学内容具体落实到设计中。

了解了本门课是由这三部分内容组成的，学员就可以在学习中主动掌握各部分的重点和深度。

3. 本门课的性质

本门课是在先修课的基础上开设的。在学习机械原理部分时，主要运用高等数学以及工程力学中的静力学部分的基础知识；在设计机械零件选择材料时，需要运用金属材料与热处理的基础知识；在进行机械零件的应力分析和变形分析时，需要运用工程力学的基础知识；在进行机械零件的结构设计时，需要运用机械制造基础和公差与技术测量的基础知识；绘制机械零件工作图时，需要运用机械制图的基础知识。由此可知，这门课是一门技术基础课，处于承上启下的地位，它综合运用以往所学的基础理论知识，解决一般通用机械零件中的设计实践问题，为以后专业课的学习打下基础。

了解本门课程的性质后，学员在学习中遇到有关先修课内容时，应能主动进行复习，但复习的重点不在于具体公式的推导，而是能运用所学的基础理论，解决具体零件的设计问题。

4. 机械零件设计的一般思路

各种机械零件由于用途不同，所以其结构、性能也不同，对每个机械零件而言，它是自成体系的。本门课基本是一章介绍一种机构或一种机械零件，互相之间基本无多大联系。因此，先学哪章或后学哪章都无关紧要。

虽然它们是各自独立的，每章都有各自的特点，但就研究方法或设计思路而言却是相同的。

机械零件的设计思路可用图 1.1 表示。

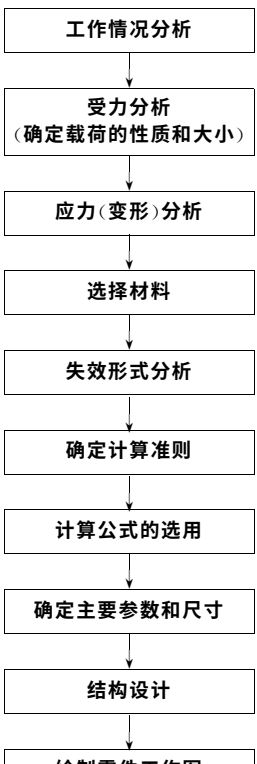


图1.1　机械零件的设计思路

（1）工作情况分析　主要是分析此机械对所设计的机械零件的要求，将所设计的机械零件的各种类型进行综合分析，确定其中一种。

（2）受力分析（即确定载荷的性质和大小）　主要分析载荷是静载还是变载，一般在设计机械零件时需采用实际载荷，此值往往比理论值要大，因此应将理论值乘以一个工作情况系数。

（3）应力（变形）分析　主要用工程力学的基础知识，分析出所设计的机械零件的应力（或变形）性质，并计算出应力值（或变形值）。

（4）选择材料　在各章中根据每一种机械零件的要求，都会介绍有关的各种适用材料，设计中只要根据所设计的机械零件选用相应的材料即可。

（5）失效形式分析　每一种机械零件在载荷作用下可能有一种或多种失效形式，应根据机械零件所受应力（或变形）不同进行分析。例如一根受转矩的轴，工作时在轴截面处产生扭转切应力，在扭转切应力作用下会使轴产生扭断，也可能产生过量的扭转弹性变形。

（6）确定计算准则　计算准则就是零件计算的依据，有几种失效形式就有几种计算准则。如上例中轴的计算准则包括防止轴发生扭断的强度计算准则和防止轴产生过量扭转变形的刚度计算准则。而

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

实际设计此轴时，应根据轴工作时的具体要求而定，选出主要的计算准则作为轴的设计依据。例如对于一般传动用轴，较小的扭转弹性变形并不影响机器的正常工作，而扭断会使机器停止运转，因此只按扭转强度作为轴的计算依据即可。

（7）计算公式的选用　计算公式是由计算准则和设计方法而定的。一种是理论设计，其公式是由工程力学公式出发，结合具体零件受载情况确定的；另一种是经验设计，其公式是由实践中总结归纳得出的经验或半经验公式，学员在使用这类公式时不必追究公式的来龙去脉，只会使用即可。

（8）确定主要参数和尺寸　对根据公式计算出的数据要进行处理。有标准要求的尺寸应按标准系列取值。例如齿轮的模数、与滚动轴承配合处的轴径等应取标准值，对有关载荷数值可进行圆整，具体圆整方法根据载荷大小而定。

（9）结构设计　根据设计出的主要参数进行结构设计。一般结构设计的公式大多是经验、半经验公式，如齿轮、带轮、蜗轮等的结构设计。对这些计算的结构尺寸，个位一律圆整至0、2、5、8（以mm为单位）。

（10）零件工作图的绘制　图纸是工程师的语言，将所设计的结果应全部反映到图面中，这部分内容即是所学基础理论知识的再实践过程，也是所学基础理论的提高过程。必须精心设计，不得马虎，否则会出现废品，造成浪费。

学员在学习中若能熟练的掌握这条设计思路，就能掌握住学习的主动性。

以上介绍的机械零件设计思路不是唯一的。在实际运用中，由于已知条件不同，有一定的灵活性。例如有时可先作结构设计，然后再根据计算准则进行必要的强度计算；有时也可以将结构设计与强度计算交叉进行，直到满足工作要求为止。

5. 本课程的特点

学好本门课除要掌握机械零件的设计思路外，还要了解本门课的特点。由上述分析可知，本门课区别于基础课的主要特点有：

（1）系数多　由于设计出的机械零件是要符合实际工作要求的，为考虑实际情况，在公式中经常会出现一些系数，例如工作情况系数或载荷系数；此外，为简化繁琐的计算公式，也经常用一个系数代替一组参数。在学习中要注意这些系数的物理意义，并掌握查用方法。

（2）经验和半经验公式多，要承认它们，要习惯运用这些公式。

（3）计算出的数值要进行处理　有的要取标准，有些需要圆整，有些要求精确计算。要求学员会根据不同需要进行计算数值的处理。

（4）试算法　这种方法是机械零件设计中经常使用的方法之一，应熟练掌握，具体方法在各章中介绍。

学员掌握了本门课的特点，就可以主动的改变以往的学习方法，走到与实践相结合的设计实践中，并为以后专业课的学习打下基础。

本章难点是内容不具体，它的具体化要在各章中才能体现。这就要求学员在以后的学习中，联系本门课的性质和特点，积极探索具有针对性的学习方法。

三、复习思考题

1. 机械在经济建设中所起的作用？

2. 选定一台简单的机械（如台钻或牛头刨床等），进行各部分功能分析，它是由哪4部分组成？说明各部分的作用。

3. 机器和机构有哪些相同和不同之处？

4. 机构、构件和机械零件有何区别？通过第2题所选的机械中，举例说明。

5. 本课程的性质和任务是什么？

6. 设计机械时应满足哪些要求？

7. 机械零件的计算准则与失效形式有何关系？常用的计算准则有哪些？

8. 机械零件设计的一般思路如何？请从中总结出本课程特点。

第二章　平面机构运动简图和自由度

一、主要内容和学习要求

（一）主要内容

本章首先介绍组成机构的最基本环节——运动副及其类型；并介绍工程中常用的机构运动简图的画法；重点讨论机构自由度的计算方法、机构具有确定运动的条件及其计算机构自由度时应注意的复合铰链、局部自由度和虚约束事项。

（二）学习要求

1）了解运动副及其分类，熟识各种平面运动副的一般表达方法。

2）熟练看懂教材中各种平面机构的运动简图。

3）能够正确判断和处理平面机构运动简图中的复合铰链、局部自由度和常见的虚约束，综合运用公式 $F=3n-2p_L-p_H$，进行平面机构自由度的计算，并能判断机构是否具有确定的运动。

二、重点、难点的提示和辅导

1. 运动副

两构件直接接触并能产生相对运动的活动联接称为运动副。根据运动副定义，它具有 3 个特征：

1）每一个运动副都是由两个构件所组成。这就是说，一个构件不能组成运动副；两个以上的构件则组成多个运动副，例如复合铰链。

2）两个构件必须是直接接触。一旦两个构件脱离接触，或不直接接触，则它们所组成的运动副亦自行消失，或不存在运动副。这一点对于高副尤为重要。

3）两个构件一定能产生相对运动。若两个构件直接接触而不能产生相对运动，则为刚性联接，那么，二者仍为一个构件，它们之间就不存在运动副。这一点在处理含有局部自由度的机构的自由度数计算时很重要。

运动副的 3 个特征是我们判断运动副存在与否的重要条件，它们是缺一不可的。因此，在理解运动副定义的同时，一定要弄清楚上述 3 个特征的含意。计算机构自由度时，在可能出现的错误中，有相当一部分是因为对上述 3 个特征意义理解不透。

2. 平面机构的运动简图

机构运动简图是一种用简单的线条和符号表示的工程图形语言，它应能表明机构的种类、各构件间相互传动的路线、运动副的种类和数目以及构件的数目等。通过阅读教材第二章第二节，考生应对绘制和阅读机构运动简图的基本方法有所了解，并在以后各章的学习中逐渐熟识、掌握这一工程语言。

在绘制和使用机构运动简图时，应注意以下几点：

1）熟识常用运动副的符号和表示方法。牢记机构运动简图与机械工程图样（装配图）的不同，不要把机械制图中的一些画法照搬到机构运动简图中来。

2）在机构运动简图中，应标出各运动副的位置及运动有关的尺寸。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。

3）正确地选择和使用比例尺。在机构运动简图中，以及在后面的章节中用作图法进行机构设计时，正确地选择和使用比例尺是非常重要的。本课程所用的比例尺与机械制图中的“比例”不尽相同，初学者容易搞混，需要特别注意。

从广义上讲，比例尺是图示单位长度所代表的实际物理量，即在图上用一定长度的线段来代表一个实际的物理量（长度、位移、转角和力），此线段的长度（图示长度）与实际物理量之间存在的关系为：

$$\mu = \text{实际物理量} / \text{图示长度}$$

我们用符号 μ_l、μ_s、μ_ϕ和 μ_p 来分别表示长度、位移、转角和力的比例尺，其单位分别为 m/mm、m/mm（或 mm/mm）、°/mm 和 N/mm。图上一定长度的线段只是实际物理量的代表线段，二者之间并不相等。因此，当将一个实际物理量变成它的代表线段画在图上去时，必须除以相应的比例尺，即

$$\text{图示长度} = \text{实际物理量} / \mu$$

而根据图示长度求出它所代表的实际物理量时，必须乘以相应的比例尺，即

$$\text{实际物理量} = \text{图示长度} \times \mu$$

初学者必须熟练掌握上述比例尺的应用，以免在以后章节的学习中出现不应有的错误。

3．平面机构的自由度

平面机构自由度的公式为

$$F = 3n - 2p_L - p_H$$

式中 n——机构中的活动构件数目；

p_L——机构中的低副数目；

p_H——机构中的高副数目。

正确地运用上述公式计算出一个机构的自由度数 F，是本章的重点内容，必须熟练掌握。为使 F 计算正确，必须正确判断 n、p_L、p_H 的数目。

4．机构具有确定运动的条件

平面机构具有确定运动的条件是：

$$F = \text{主动件数目}$$

若主动件数目$>F$，这种各构件的组合体是不能产生相对运动的，否则将会损坏整个组合体；若主动件数目$<F$，这种各构件的组合体其相对运动是不确定的。

此外，若 $F \leqslant 0$，则各构件间不可能产生相对运动，这种构件的组合体实质为桁架。

5．复合铰链、局部自由度和虚约束的处理问题

当机构中含有复合铰链、局部自由度和虚约束时，如何正确判断它们并予以适当处理，则又是自由度数目计算中的难点。故此，必须引起注意。

（1）复合铰链　每两个构件组成一个运动副。当两个以上的构件在机构运动简图上集于一点组成转动副时，则会组成一个以上的转动副。如图 2.1 中的 K 个构件在 A 点组成转动副，

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

可以认为是以一个构件（如构件 1）为基础，其余构件分别与它组成转动副，故 K 个构件在 A 点组成（$K-1$）个转动副。

所谓复合铰链，是指“重合在一起的多个转动副”而言，它与移动副无关。例如图 2.2a 中的 B 处为构件 1 和构件 2 组成一个转动副，而构件 2 和构件 3 组成移动副，不能称为复合铰链；图 2.2b 中的 C 处为一个转动副和两个移动副，也不能视为复合铰链；图 2.2c 中的 D 处是复合铰链，它是由构件 2、构件 3 和构件 5 组成的两个转动副，而构件 1 和构件 2、构件 3 和构件 4 所组成的移动副应单独计算，与复合铰链无关。

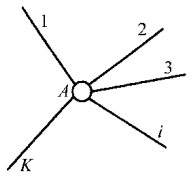


图 2.1　复合铰链

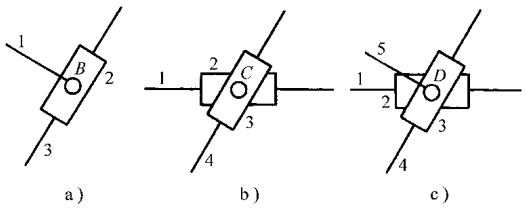


图 2.2　含移动副形式的判断
a）含有一个转动副一个移动副　b）含有一个转动副二个移动副　c）含有二个转动副二个移动副

（2）局部自由度　机构中某一构件的自由运动不影响其它构件的运动，则把该构件的运动自由度称为局部自由度。局部自由度常发生在为减小高副磨损而将滑动摩擦变成滚动摩擦所增加的滚子处。如图 2.3a 中的构件 2 和构件 3 在 B 处组成一个转动副，滚子 3 绕 B 点的转动即为一个局部自由度。在计算整个机构的自由度之前，应先将其中含有的局部自由度除去。其处理方法是把滚子 3 和从动件 2 固结成一个刚体，这时二者合成为一个构件；它们之间原来在 B 处所组成的转动副即自行消失。于是，机构运动简图变成图 2.3b 所示的样子，其中：$n=2$，$p_L=2$，$p_H=1$，则

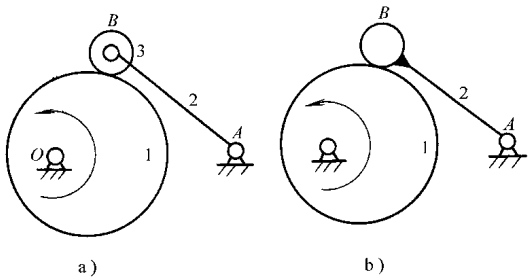


图 2.3　局部自由度
a）含有局部自由度　b）除去局部自由度

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times2-2\times2-1=1$$

（3）虚约束　在机构中不产生实际约束效果的重复约束称为虚约束。实际工作中常常利用虚约束来改善机械的受力情况，或获得平面平行运动等。虚约束分析是一个难点问题，应结合实例来体会掌握。在教材中已对平面机构中几种虚约束情况作了较详细的论述，我们在这里把它们归纳在表 2.1 中，以便于学习掌握。

机构中虚约束的存在，必须满足一个特定的几何条件，而当这个特定的几何条件不能满足时，虚约束将变成实际约束。这一点也可以作为判断机构中是否存在虚约束的一个依据。

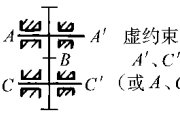
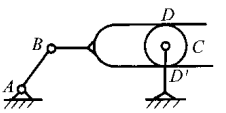
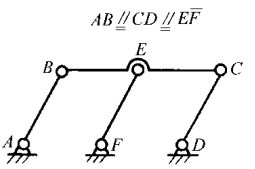
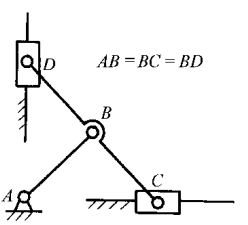
从机构中判断出虚约束之后，应先将产生虚约束的构件及该构件有关的运动副撤消，然后再计算机构的自由度 F。例如图 2.4a 所示的机构中，由于满足 $EF/\!/AB/\!/CD$ 的几何条件，BC 杆上各点的轨迹均为半径相等的圆弧，因而存在虚约束。这时即可以认为杆 EF 及转动副

E、F 为虚约束，也可以认为杆 CD 及转动副 C、D 为虚约束，如图 2.4b、c 所示，其自由度均为：

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times3-2\times4-0=1$$

由于杆 AB 为主动件，不能将它视为虚约束。

表 2.1　虚约束的几种情况

具体情况	虚约束的几何条件	计算自由度时的处理	实　　例
两构件之间形成多个转动副	各转动副必须共轴线	两构件之间只按形成一个运动副计算	 虚约束为 A'、C'（或 A、C）
两构件之间形成多个移动副	各移动副的导路方向必须平行		 虚约束为 D'（或 D）
两构件之间形成两个高副	要求高副接触两侧的径向尺寸或两侧宽度为定值		 虚约束为 D'（或 D）
构件上某一动点描出圆弧轨迹，即该动点对某一固定点的距离保持不变	可用一个附加构件把该动点与固定点铰接起来，亦即该构件的长度必须等于圆弧半径	撤去附加构件及其运动副	 虚约束为 EF 杆（或 CD 杆）
构件上某一动点描出直线轨迹（相当于该动点对无穷远点的距离保持不变）	可用一个在固定直线导路上移动的附加滑块把该动点铰接起来，其几何条件是导路的移动方向与该动点的直线轨迹相平行		 虚约束为 D 块（或 C 块）

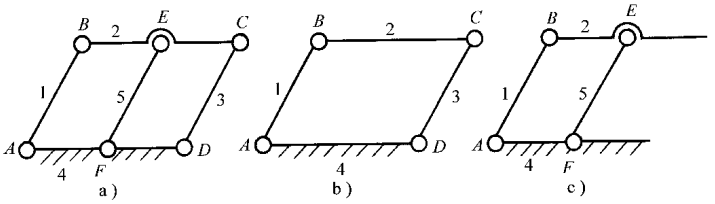


图 2.4　平行四边形机构

a）含有虚约束　b）撤去虚约束的一种形式　c）撤去虚约束的另一种形式

三、典型例题分析

例 2.1　试计算如图 2.5 所示机构的自由度，若含有复合铰链、局部自由度、虚约束时应明确指出。

解　H 处为复合铰链，B 处为局部自由度，E（或 D）处为虚约束。则

$$n=7,\ p_L=9,\ p_H=1$$

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times7-2\times9-2=1$$

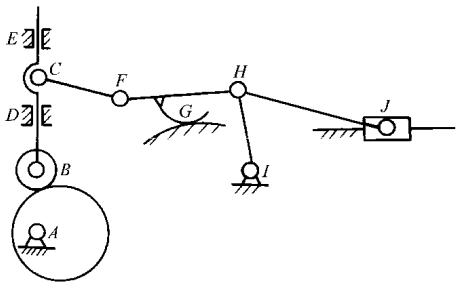


图 2.5　计算机构自由度，明确指出复合铰链、局部自由度和虚约束

例 2.2　试计算图 2.6 所示各平面机构的自由度数，并判定它们是否具有确定的相对运动（标有箭头的构件为主动件）。

解　图 2.6a 中，A 处为复合铰链（注意小齿轮与机架构成的转动副易被忽略），则

$$n=4,\ p_L=5,\ p_H=1$$

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times4-2\times5-1=1$$

此机构有一个主动件，故该机构具有确定的相对运动。

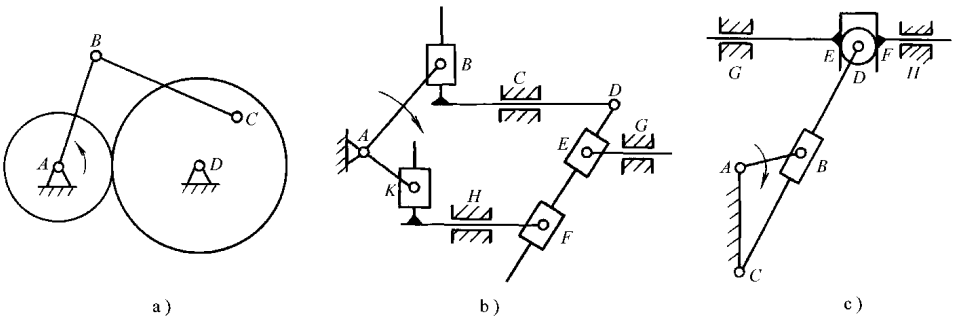


图 2.6　计算机构自由度，并判定是否具有确定的相对运动

a）齿轮—连杆机构　b）低副机构　c）牛头刨床机构

图 2.6b 中，A 处为复合铰链，则

$$n=10,\ p_L=14,\ p_H=0$$

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times10-2\times14-0=2$$

此机构有二个自由度，但只有一个主动件，机构的运动不能确定，即机构不具有确定的相对

运动。欲使该机构具有确定的相对运动，需再增加一个主动杆（如杆 AK）。

图 2.6c 中 D 处滚子为局部自由度，E（或 F）高副处为虚约束（注意：此处易被忽略），G（或 H）处为虚约束，则

$$n=4，\ p_L=5，\ p_H=1$$

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times4-2\times5-1=1$$

此机构有一个主动件，故该机构具有确定的相对运动。

四、复习思考题

1. 何谓运动副？又何谓低副和高副？

2. 何谓机构的运动简图？由实际机械绘制机构运动简图的步骤如何？应注意什么问题？

3. 何谓自由度？何谓约束？约束数目和自由度数目的关系如何？平面低副和平面高副各有几个约束？约束一个转动而保留两个移动的运动副是否存在？为什么？

4. 何谓机构的自由度？如何计算？

5. 机构具有确定运动的条件是什么？

6. 何谓复合铰链、局部自由度和虚约束？在计算平面机构的自由度时，应如何判断和处理？

第三章　平面连杆机构

一、主要内容和学习要求

（一）主要内容

本章以四杆机构为重点介绍其最基本类型、结构特点以及它们的运动和动力特性；并从铰链四杆机构演化入手，揭示平面四杆机构的内在联系和发展规律；最后重点讨论平面四杆机构的设计方法。

（二）学习要求

1）熟识铰链四杆机构的基本类型及其演化，重点了解铰链四杆机构的 3 种型式和曲柄滑块机构以及导杆机构。

2）理解平面四杆机构的基本特性，利用四杆机构曲柄存在条件判断机构是否存在曲柄及其类型；并运用四杆机构的行程速比系数 K、传动角 γ（或压力角 α）和死点位置等概念，作图确定和求出四杆机构的极限位置（极位夹角 θ）、最小传动角 $\gamma_{\min}$（或最大压力角 $\alpha_{\max}$）和死点位置。

3）综合运用按给定的行程速比系数 K 和连杆的位置的运动条件设计四杆机构。

二、重点、难点的提示和辅导

1. 四杆机构曲柄存在条件

（1）铰链四杆机构曲柄存在条件　铰链四杆机构是否存在曲柄，完全取决于机构中各杆长度间的关系，由教材的讨论结果可知，铰链四杆机构曲柄存在的条件为：连架杆和机架中必有一杆为 $l_{\min}$；$l_{\min}+l_{\max}\leqslant l_2+l_3$。

当满足杆长关系条件（即后一条件）的情况下，若连架杆为最短杆，则该机构有一个曲柄（如曲柄摇杆机构）；若机架为最短杆，则该机构有两个曲柄（如双曲柄机构）。

根据机构的演化关系，当取不同构件为机架（固定件），即可判断不同类型的铰链四杆机构。其判断思路可用图 3.1 示意。

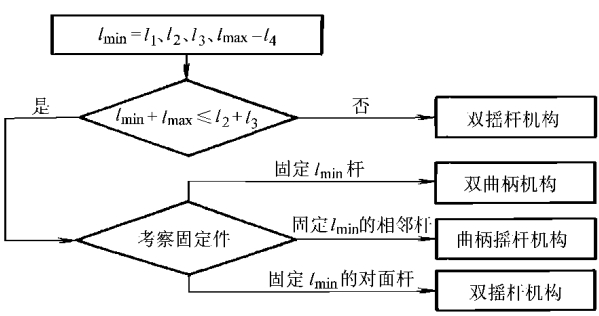


图 3.1　铰链四杆机构类型判断框图

（2）曲柄滑块机构　根据运动几何关系有：偏置式曲柄滑块机构曲柄存在条件为：$a+e\leqslant b$；对心式曲柄滑块机构曲柄存在条件为：$a\leqslant b$。

（3）导杆机构　根据运动几何关系，摆动导杆机构曲柄存在条件

为：$a \leqslant d$。

2. 四杆机构的急回特性及行程速比系数 K

当机构的主动曲柄作等速转动，而从动摇杆（滑块）作往复摆动（移动）时，从动件在正行程和反行程的平均线速度 v_1、v_2 不相等，即存在所谓的“急回特性”。我们把 v_2 与 v_1 的比值称为从动件的行程速比系数 K，其 $K \geqslant 1$，即

$$K=\frac{v_2}{v_1} \geqslant 1$$

显然，行程速比系数 K 只适用于取曲柄为主动件的平面连杆机构，如曲柄摇杆机构、曲柄滑块机构和导杆机构等。

机构之所以存在急回特性（$K>1$），是由于曲柄的极位夹角 $\theta>0$。极位夹角的定义是：当从动摇杆（滑块）处于左、右两极限位置时，主动曲柄两位置所夹的锐角 θ。曲柄摇杆机构、曲柄滑块机构和导杆机构的极位夹角 θ，如教材中图 3-28、图 3-29 和图 3-30 所示。

根据 θ 和 K 的定义，可求得它们之间的关系为

$$\theta=180^\circ\frac{K-1}{K+1}$$

$$K=\frac{180^\circ+\theta}{180^\circ-\theta}$$

欲求其从动件的行程速比系数 K，应先求极位夹角 θ。而当用几何作图求其极位夹角 θ 时，需注意下述几何关系：当从动件处于两极限位置时，其主动曲柄与连杆两次共线（重迭共线和拉直共线）所夹的锐角为 θ。

图 3.2a 是按长度比例尺 μ_l 绘制出的曲柄摇杆机构，其用几何作图发法求极位夹角 θ 的步骤如下：

1）以 A 为圆心，a 为半径画 B 点的轨迹圆；以 D 为圆心，c 为半径画 C 点的轨迹圆弧。

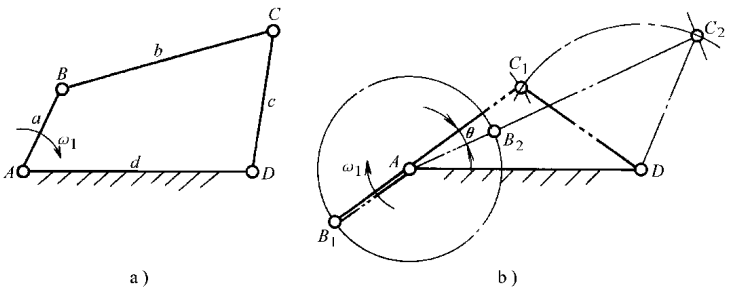


图 3.2　铰链四杆机构的极位夹角 θ 作图求解法

a）铰链四杆机构　b）几何作图求解 θ 法

2）以 A 为圆心，以 $(b-a)$ 和 $(b+a)$ 长度为半径分别画圆弧交 C 点的轨迹圆弧于 C_1 和 C_2 点。

3）连 C_1A 并延长，连 C_2A，分别与 B 点的轨迹圆交于 B_1、B_2 点，得出机构的两个极限位置。量出曲柄两个极限位置 AB_1 和 AB_2 之间所夹的锐角 θ，即为极位夹角（图 3.2b）。

对于求曲柄滑块机构极位夹角的步骤与曲柄摇杆机构类似，不再赘述。我们只画出了图 3.3，供考生自行练习时参考。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com