

三阶法

大学课程学习与考研指导系列

机械原理

学习与考研指导

邹慧君 沈乃勋 主编

- 重点/难点/考点
- 方法/技巧/提示
- 基础篇：学习课程的良师益友
- 提高篇：期末考试的得力助手
- 考研篇：考研复习的实战演练



 科学出版社
www.sciencep.com

三阶法大学课程学习与考研指导系列

机械原理学习与考研指导

邹慧君 沈乃勋 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是“机械原理”课程的配套教材,内容紧扣教学大纲。

本书针对学生平时学习、期末考试、考研的需要,按照基础、提高、考研三个层次循序渐进地安排编写体例。书中系统总结了各知识点的主要内容和基本概念,形成连贯学习体系;剖析典型例题,提供解题思路;提出各部分内容的重点、难点和考点;书中含有大量习题可供读者练习,以掌握解题思路和解题技巧;书后附录中列有各工院校机械原理课程的期末考试试题及研究生入学考试试题,供读者自测及备考使用。

本书可作为工院校机械类、近机类专业的本科生自学的辅助教材,研究生考试复习资料,同时也可供本专业教师及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理学习与考研指导 / 邹慧君, 沈乃勋 主编. —北京: 科学出版社, 2004

(三阶法大学课程学习与考研指导系列)

ISBN 7-03-012420-0

I. 机… II. ①邹…②沈… III. 机构学-高等学校-自学参考资料
IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 106756 号

责任编辑:段博原 / 文案编辑:邱 璐 贾瑞娜 / 责任校对:钟 洋

责任印制:安春生 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年6月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2004年6月第一次印刷 印张: 25 1/2

印数: 1—5 000 字数: 489 000

定价: 28.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈路通〉)

前 言

机械原理课程是高等工科大学机械类专业开设的一门主干基础技术课程。上海交通大学的机械原理课程内容和体系,经过 20 年来的教学和改革实践,形成了机械设计-机构系统综合-机械动力学的新体系。课程加强了机构设计、机构系统设计的内容,增加了机械创新设计方法,广义机构的类型、特点的介绍。新体系将有利于培养学生的创新思维和创新设计能力。

机械原理课程在机械设计系列课程中居于十分重要的地位。大家知道,机械产品设计比较粗略地可分为两个阶段:机械产品的概念设计(conceptual design)和机械产品的构形设计(configuration design)。概念设计是决定机械产品质量水平的高低、性能的优劣和经济效益好坏的关键一步。机械原理课程的重要任务就是进行机械运动方案的设计、各个执行机构的类型和尺度综合、机械系统的动力性能分析和综合等。

机械原理课程的研究对象是机器和机构,由于课程的性质决定了机器和机构的概念具有一定的抽象性和概括性,这样有利于更集中地研究机械产品设计中的基本理论和基本方法。同时,也是由于课程性质决定了本课程与机械产品紧密结合。这样才能深刻地认识关于机构分析和综合问题,深刻地认识机械动力分析和综合问题。基于这些特点,为了学好机械原理课程,在学习过程中应紧紧掌握如下方法:

1) 熟悉和掌握各种典型机构和运动特点,深入理解满足实际生产需要的机构分析和设计方法。

2) 熟悉和掌握机械运动简图的画法,要习惯于采用运动简图来认识机构和机器。

3) 对于课程中的基本概念要深刻理解,更好地掌握课程内容。

4) 深入理解和全面掌握本课程所采用的基本研究方法。这些基本研究方法有:杆组法、转换机架法、机构演化法、等效法等。这些方法在对各种机构进行分析和设计过程中,充分显示出它们的重要性。

5) 注意在学习中进行前后联系、融会贯通,如利用瞬心的概念不但对连杆机构而且对凸轮机构、齿轮机构的分析都是十分有用的。

6) 要重点复习有关例题,归纳总结解题思路,从中得到启示,以达到举一反三的效果。使平时做习题,考试时做试题都达到事半功倍的效果。

为了帮助学生学好这门课程,同时也为了满足许多硕士研究生报考者复习需

要,我们编写了这本书,作为平时学习机械原理的配套用书,又作为考研复习时的指导用书。

根据课程教学的基本要求,书中具体指出了各章的内容提要、基本概念,剖析了典型例题,从而有利于掌握解题思路 and 技巧。对各章的重点、难点和考点的阐述,更有利于学生掌握课程的重点并能取得较好成绩。各章的自测试题,有利于学生自己检查基本内容的掌握程度,做到心中有数。本书在附录中附有各校期末考试题目精选、各校考研试题精选和试题参考答案。

本书由邹慧君、沈乃勋担任主编。邹慧君编写了第 1、13、14 章,李瑞琴编写了第 2、4、10 章,沈乃勋编写了第 3、12 章及附录 B,张青编写了第 5、6 章,郭为忠编写了第 7、11 章,虞红根编写了第 8、9 章及附录 A。最后由邹慧君、沈乃勋负责统稿并定稿。

由于编者水平所限,书中疏漏和欠妥之处在所难免,恳请读者不吝指正。

编 者

2004 年 1 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 内容提要及基本概念	1
1.2 重点、难点和考点	4
1.3 自测试题	5
第 2 章 机构的结构分析与综合	6
2.1 内容提要及基本概念	6
2.2 重点、难点和考点	9
2.3 典型例题精解	10
2.4 考研试题精解	16
2.5 自测试题	20
第 3 章 机构的运动分析	24
3.1 内容提要及基本概念	24
3.2 重点、难点和考点	30
3.3 典型例题精解	31
3.4 考研试题精解	46
3.5 自测试题	50
第 4 章 机构的力分析	54
4.1 内容提要及基本概念	54
4.2 重点、难点和考点	56
4.3 典型例题精解	56
4.4 考研试题精解	63
4.5 自测试题	66
第 5 章 机械中的摩擦和机械效率	68
5.1 内容提要及基本概念	68
5.2 重点、难点和考点	75
5.3 典型例题精解	76

5.4 考研试题精解·····	87
5.5 自测试题·····	90
第6章 连杆机构及其设计 ·····	94
6.1 内容提要及基本概念·····	94
6.2 重点、难点和考点·····	100
6.3 典型例题精解·····	100
6.4 考研试题精解·····	111
6.5 自测试题·····	114
第7章 凸轮机构及其设计 ·····	118
7.1 内容提要及基本概念·····	118
7.2 重点、难点和考点·····	136
7.3 典型例题精解·····	137
7.4 考研试题精解·····	149
7.5 自测试题·····	153
第8章 齿轮机构及其设计 ·····	159
8.1 内容提要及基本概念·····	159
8.2 重点、难点和考点·····	163
8.3 典型例题精解·····	164
8.4 考研试题精解·····	182
8.5 自测试题·····	184
第9章 轮系 ·····	188
9.1 内容提要及基本概念·····	188
9.2 重点、难点和考点·····	191
9.3 典型例题精解·····	192
9.4 考研试题精解·····	206
9.5 自测试题·····	210
第10章 其他常用机构 ·····	214
10.1 内容提要及基本概念·····	214
10.2 重点、难点和考点·····	218
10.3 典型例题精解·····	218
10.4 考研试题精解·····	223

10.5 自测试题·····	224
第 11 章 机械的运转及速度波动的调节 ·····	226
11.1 内容提要及基本概念·····	226
11.2 重点、难点和考点 ·····	231
11.3 典型例题精解·····	232
11.4 考研试题精解·····	242
11.5 自测试题·····	250
第 12 章 机械平衡 ·····	256
12.1 内容提要及基本概念·····	256
12.2 重点、难点和考点 ·····	261
12.3 典型例题精解·····	262
12.4 考研试题精解·····	266
12.5 自测试题·····	268
第 13 章 机械运动方案设计 ·····	272
13.1 内容提要及基本概念·····	272
13.2 重点、难点和考点 ·····	278
13.3 自测试题·····	278
第 14 章 机械振动和隔振 ·····	281
14.1 内容提要及基本概念·····	281
14.2 重点、难点和考点 ·····	283
14.3 自测试题·····	284
附录 A ·····	286
附录 A.1 各高校期末考试题精选·····	286
附录 A.2 各高校期末考试题参考答案·····	301
附录 B ·····	310
附录 B.1 各高校考研试题精选·····	310
附录 B.2 各高校考研试题参考答案·····	349
参考文献 ·····	399

第 1 章 绪 论

1.1 内容提要及基本概念

1.1.1 内容提要

1. 机械原理的研究对象

1) 机械原理又称机器理论与机构学。机械原理是研究机构和机器的运动及动力特性,以及机械运动方案设计的机械工程的基础学科。它是机械设计理论和方法学科中的重要分支。它对于机械的设计、制造、运行、维修等方面都有十分重要的作用。

要进行机械的创新设计,机械原理知识是不可缺少的、十分重要的。

2) 机械原理的研究对象是机械,而机械是机构与机器的总称。因此,机械原理的研究对象应是机构和机器。

3) 机器的类别,按其功用的不同,通常可分为动力机器、工作机器和信息机器 3 类。

动力机器的功用是将任何一种能量变换成机械能,或者将机械能变换成其他形式的能量。

工作机器的功用是完成有用的机械功或搬运物品。

信息机器的功用是完成信息的传递和交换。

随着科技的发展,机器的内涵也不断变化。但是,机器的本质属性进行运动和动力的传递和变换不会改变。现代科技在机器中运用,只是使机器具有信息化、智能化和柔性化。

2. 机械设计概述

不了解机械设计的进程和内容,就不能深刻理解机械原理的作用及其重要性。

(1) 机械设计的一般进程

机械设计的一般步骤和进程,有不同的理解和划分方法。但从现代机械设计的观点来看,可以分为产品规划、方案设计、详细设计和改进设计 4 个阶段。

产品规划是从市场需求和分析出发,确定产品的设计要求。

方案设计是产品设计的关键,主要完成机械运动方案的设计,其主要内容涉及到机械原理的知识。机械原理课程内容将为方案设计提供设计理论和方法。

详细设计是将机械运动简图具体化为机器及零部件的合理结构,它对产品的技术性能和经济指标都有着直接的影响。详细设计涉及到机械设计、材料学等课程内容。

改进设计是对试验、使用中暴露的问题进行完善改进。

(2) 机械运动方案设计的主要内容

机械运动方案设计包括两方面内容。

1) 机械运动简图的类型综合:根据机械所要完成的一系列执行动作选择适宜的执行机构类型,组合成机构系统。

2) 机械运动简图的尺度综合:按各执行动作具体运动要求对各执行机构进行尺度综合。必要时还可改变机构的类型。

(3) 机电一体化技术在机械运动方案设计中的作用

机电一体化技术不断发展和广泛应用,使机器日益现代化。在进行机械运动简图设计时,应考虑机电一体化技术是如何在方案设计中应用的。机电一体化技术的应用可使机器实现信息化、智能化和柔性化。

(4) 方案设计在广义上说又称概念设计

只有在产品概念设计上下功夫,才能使产品达到具有创新性和自主知识产权的局面。

3. 机械原理课程的地位和作用

(1) 机械原理课程的地位和作用

机械原理是研究机构及机械运动简图设计的一门重要技术基础课,它的任务主要是使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。培养学生初步拟定机械运动方案、分析和设计基本机构的能力。

(2) 机械原理课程的主要内容

机械原理课程主要包括下列内容:

1) 机构的组成和类型综合。

2) 典型机构设计。

3) 机构系统设计。

4) 机械动力学。

(3) 机械原理课程的学习方法

根据机械原理课程的特点和作用,应掌握相应的学习方法,才能事半功倍。

1) 掌握各种典型机构的结构、分析和设计方法。

2) 掌握机械运动简图的画法,习惯于用运动简图来认识机构和机器。

3) 深刻理解课程中的基本概念。

4) 全面掌握课程中的基本研究方法:杆组法、转换机架法、机构演化法、等效

法等。

5) 要善于将内容前后联系、融会贯通。

6) 复习有关例题,归纳总结解题思路。

4. 机械原理学科的发展

机械原理学科是机械设计及理论学科的重要组成部分,是机械工程和现代科学技术发展的重要基础。由于电子学、信息科学、计算机技术、生物科学向机械设计及理论学科的渗透和结合,使机械原理学科已向现代化方向迈出一大步。一方面使传统机构学中的典型机构,如连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、组合机构等在分析和设计方法上有很大发展,计算机辅助设计和优化设计也有很大发展。另一方面在机器人机构、微机构、广义机构、可控机构、机构系统设计、机构动态设计等方面均有不少新的研究成果。这些方面的深入研究为现代机器的设计提供了理论基础。

从机械原理学科的发展动向来看,我们应该更好地学好机械原理课程,推动现代机械原理学科的发展。

1.1.2 基本概念复习

1. 机器

机器是一种由人为物体组成的具有确定机械运动的装置,它用来完成一定的工作过程,以代替人类的劳动。

2. 机构

机构是把一个或几个构件的运动,变换成其他构件所需运动的确定运动构件系统。

3. 构件、零件

构件是机器中的运动单元体。零件是机器中的制造单元体。

4. 机械

机械是机构和机器的总称。

5. 机械系统

若干机构组成的系统称机械系统。这种机械系统就是机器。

若干机器组成的系统也称机械系统。这种机械系统也可称生产线。

6. 机械运动方案

按一定工艺动作过程要求设计的机器运动简图称之为机械运动方案。它是机器方案最关键的部分。

机械运动方案实际上就是一系列执行机构组成的机构系统。

7. 机构运动简图

用构件和运动副符号所表达的机构简图就是机构运动简图,反映了机构的运动特性和组成情况。

8. 机械运动简图

机械运动简图就是机器中各机构所组成的机构系统运动简图。

1.2 重点、难点和考点

本章重点

- 1) 机械原理的研究对象:机构和机器。
- 2) 机构:具有确定运动的构件系统。
- 3) 机器:具有确定运动的人为物体组成的装置,用它来完成一定的工作过程,以代替人类的劳动。
- 4) 机械运动方案:完成机器工艺动作过程的执行机构系统方案。
- 5) 机械运动方案设计:是机械设计的关键步骤,是机械创新设计的重要内容。机械运动方案设计就是按市场需求确定的机器功能,构思出机器工艺动作过程,进行执行机构系统的类型综合和尺度综合。
- 6) 机械原理课程的主要内容包括典型机构的分析和设计,机械系统(机械运动方案)设计以及机械动力学。
- 7) 机械原理学科的发展概况,特别要注意机械原理已由传统的内容向现代的内容发展。

本章难点

- 1) 如何根据机械原理特点和作用,掌握好机械原理课程的学习方法,这些学习方法的运用将有利于掌握课程的内容。
- 2) 对于机构和机器概念的区分,在某些情况下往往会产生混淆,如机构会不会独立于机器而存在。
- 3) 对于机构运动简图和机械运动简图,有时也容易混淆。对于机构运动简图

只是单独表示这一机构的组成和运动特性。而机械运动简图除表示各个机构的组成和运动特性,还表示各机构运动的相互关联。

1.3 自 测 试 题

1. 思考题

- 1) 说明机构与机器的异同。
- 2) 何谓机构? 现代机构与传统机构有什么区别。
- 3) 何谓机器? 机器按什么特征可以分成3种类型。
- 4) 构件与零件的概念有什么不同?
- 5) 机构运动简图与机械运动简图有什么异同?
- 6) 为什么说机械运动方案就是机构系统方案?
- 7) 何谓机械系统? 从机构学的角度来说,机械系统应如何定义?

2. 问答题

- 1) 什么是执行动作和执行构件?
- 2) 试列举3个机构实例,并说明其功用、结构。
- 3) 试列举3个机器实例,说明其组成、功用。
- 4) 机械运动方案设计的主要内容应包括哪些?
- 5) 学习机械原理课程时应注意掌握哪些方法?
- 6) 试从日常生活中接触到的两种机构功能,构思它们的新机构类型。

第2章 机构的结构分析与综合

2.1 内容提要及基本概念

2.1.1 内容提要

- 1) 掌握有关机构的概念,如构件、运动副、运动链、杆组等。
- 2) 掌握平面机构运动简图的绘制方法和步骤,能根据实际机械正确绘制机构运动简图。
- 3) 掌握机构具有确定运动的条件及平面机构自由度的计算,并注意复合铰链、局部自由度和虚约束等情况。
- 4) 掌握平面低副机构的结构分析和组成原理,能根据给定的机构运动简图进行拆杆组,进行机构的结构分析,并确定机构的级别。
- 5) 掌握平面机构中高副低代的方法,要求代替前后,机构的自由度和机构的瞬时运动不变。

2.1.2 基本概念复习

1. 机构自由度计算

要保持机构具有确定的相对运动,必须使机构的原动件(一般原动件与机架组成转动副或移动副)数等于机构的自由度数。对于平面机构,其自由度为

$$F = 3n - 2P_l - P_h$$

式中: n ——机构中活动构件数;

P_l ——低副数目;

P_h ——高副数目。

上式称为平面机构自由度的计算公式,又称平面机构的结构公式。在应用该式计算自由度时,必须注意下列事项:

- 1) 复合铰链。两个以上的构件在同一处以转动副相连接,该处就构成复合铰链。当有 m 个构件(包括固定构件)以复合铰链相连接时,其转动副的数目应为 $(m-1)$ 个。
- 2) 局部自由度。机构中某些构件所能产生的运动,并不影响其他构件的运动,则这些构件所能产生的这种局部运动的自由度称为局部自由度。在计算机构自由度时,应将局部自由度除去。

3) 虚约束。对机构运动只起重复限制作用的约束称为虚约束。

虚约束一般发生于:

① 轨迹重合。机构中有两个构件用转动副相连接,而两构件上连接点的轨迹相重合,产生一个虚约束。

② 转动副轴线重合。两构件组成多个转动副且其轴线相重合时,只有一个转动副起约束作用,其余转动副都是虚约束。

③ 移动副导路平行。两个构件组成多个移动副且其导路互相平行或重合时,只有一个移动副起约束作用,其余移动副都是虚约束。

④ 机构运动过程中,两构件上两点之间的距离始终保持不变,用一个构件和两个转动副将此两点相连,产生一个虚约束。

⑤ 机构中某些不影响机构运动传递的重复部分所带入的约束。

对于虚约束,在计算机构自由度时,应将虚约束去掉。

2. 机构运动简图

用简单的线条和规定的符号代表构件和运动副,并按比例定出各运动副的相对位置。这种能表达机构运动情况的简单图形称为机构运动简图。机构运动简图能反映出机构的运动特性。可以用来进行机构的结构、运动及动力分析。

绘制机构运动简图的方法和步骤为:

第一步:通过观察和分析机械的运动情况和实际组成,先搞清机械原动部分和执行部分,然后循着运动传递的路线分析,查明组成机构的构件数目和各构件之间组成的运动副的类别、数目及各运动副的相对位置。

第二步:恰当地选择投影面。选择时应以能简单、清楚地把机构的运动情况表示出来为原则。一般选机构中的多数构件的运动平面为投影面。

第三步:选取适当的比例尺。根据机构的运动尺寸,先确定出各运动副的位置(如转动副的中心位置、移动副的导路方位及高副的接触点的位置等),并画上相应的运动副符号,然后用简单线条或几何图形连接起来,最后要标出构件序号及运动副的代号字母,以及标出原动件的转向箭头。

3. 机构的组成和杆组

由于机构中原动件数目等于机构的自由度数,因此,若从机构中将机架及与机架相连的原动件拆下,则剩下的必是一个自由度为零的从动件组合系统。当然有时我们还可再将它拆成更简单的自由度为零的构件组。把最后不能再拆的最简单的自由度为零的构件组称为基本杆组。

反过来,任何机构都可以看成是由若干基本杆组依次连接到一个(或几个)原动件和机架上而组成的,这就是机构的组成原理。

必须注意,把每个基本杆组拆下来或装上去,都必须不影响原机构运动的自由度。也就是说,从机构中拆下来的是基本杆组,剩下来的还是机构。

对于仅含低副的机构,它的最简单基本杆组是由两个构件和 3 个低副构成。这种基本杆组称为 II 级组,它有 5 种不同类型,如图 2-1。

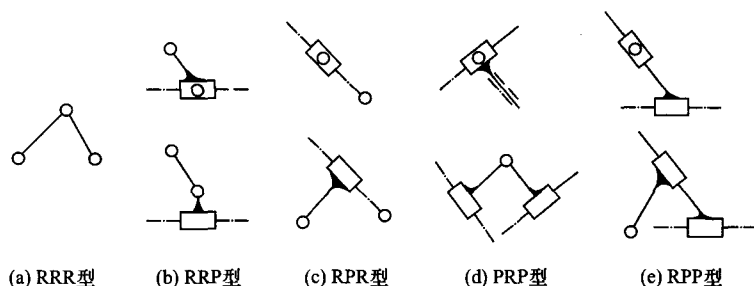


图 2-1 II 级组的 5 种类型

III 级组均由 4 个构件和 6 个低副所组成,而且必有一个构件有 3 个低副,如图 2-2 所示 3 种结构形式(a)、(b)、(c)中的构件 2,都包含有 B、C、D 3 个低副。

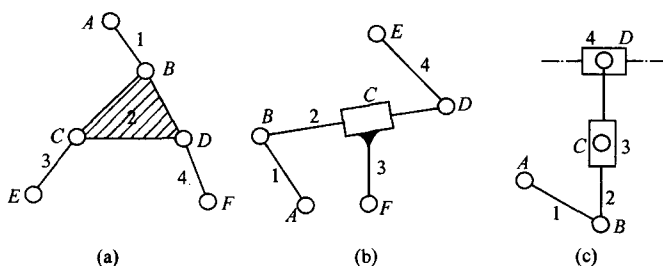


图 2-2 III 级组的几种组合形式

值得注意的是,图 2-3 所示的杆组,包含有 4 个运动副组成的封闭四边形,故称为 IV 级组。

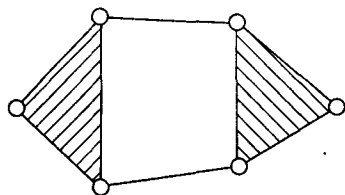


图 2-3 IV 级组

平面机构的级别取决于该机构能够分解出的基本杆组的最高级别。

4. 高副低代法

为了使平面低副机构的运动分析和动力分析方法能适用于所有平面机构,因而要了解平面高副与平面低副之间的内在联系,研究在平面机构中用低副代替高副的条件和方法(简称高副低代)。

为了保证机构的运动保持不变,进行高副低代必须满足的条件是:

- 1) 代替机构和原机构的自由度必须完全相同。
- 2) 代替机构和原机构的瞬时速度和瞬时加速度必须完全相同。

各种高副低代的形式和方法见图 2-4。各种典型的高副机构和低副替代后的机构如图 2-5 所示。

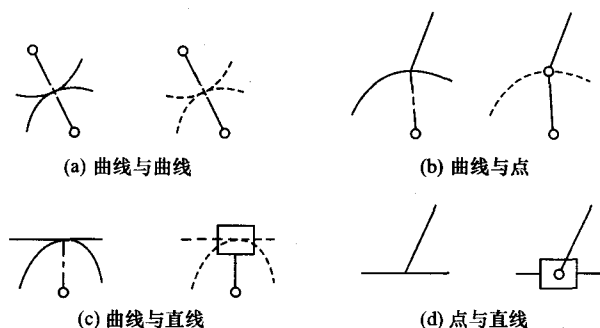


图 2-4 高副低代的形式和方法

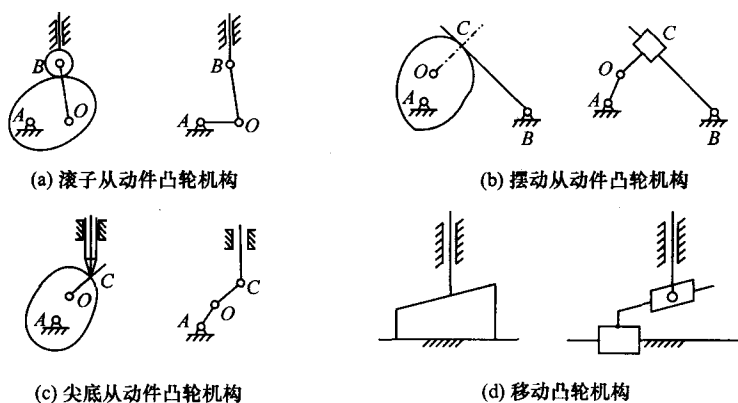


图 2-5 典型的高副机构及其相应的低副替代机构
(图中 O 点为高副接触处的曲率中心)

2.2 重点、难点和考点

本章重点

构件、运动副、运动链等概念,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。