

高等职业教育机械系列精品教材

高等职业教育机械系列精品教材

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU



机械设计基础

主编 牟作云

机械设计基础

主编 牟作云



策划编辑：高宇
责任编辑：
封面设计：黄燕美



定价：49.90元

北京邮电大学出版社

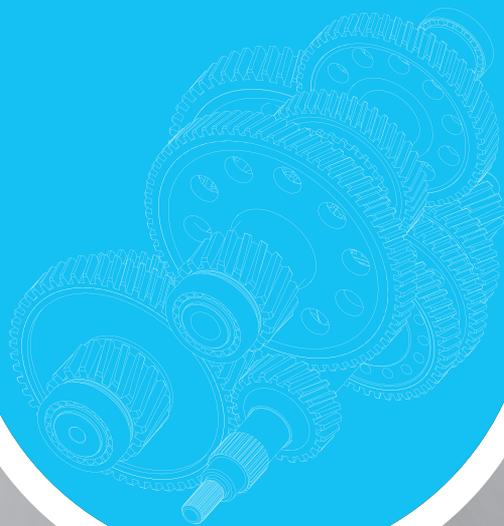


北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高等职业教育机械系列精品教材

机械设计基础

主 编 牟作云
副主编 韩 瞧 崔 巍 康元红
参 编 于春艳 李 冰 丁玉鑫（企业）
主 审 姬振宇



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书是职业教育形态下机类通用教材。全书教学内容共有三个模块,十个单元,内容包括:平面连杆机构,凸轮机构,间歇运动机构;螺纹连接及螺旋传动,带传动和链传动,齿轮传动,齿轮系;轴及轴毂连接,轴承,联轴器、离合器和制动器。每个单元内容的选取依据“以能力为本位,以职业需求为主线”的总体设计要求,本着着重培养学生的实践应用技能,力求达到理论够用,技能过硬的目的,使学生能够快速入门,掌握高职高专学生必备的知识点和技能点。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校机械类、近机械类专业机械设计基础课程教材,可供工程技术人员参考,也可作为岗位培训用书,供相关人员选用。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 牟作云主编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2023. 12

ISBN 978-7-5635-7123-9

I. ①机… II. ①牟… III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 247130 号

策划编辑: 朱婉茜 责任编辑: 高 宇 封面设计: 黄燕美

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市骏杰印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 16.5

字 数: 341 千字

版 次: 2023 年 12 月第 1 版

印 次: 2023 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-7123-9

定 价: 49.90 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

服务电话: 400-615-1233



党的二十大报告指出，要实施科教兴国战略，强化现代化建设人才支撑，加强企业主导的产学研深度融合，强化目标导向。本书根据“高职高专机械类专业人才培养目标及规格”的要求，结合编者多年的教学和生产实践的经验编写而成，内容选取依照“以能力为本位，以职业需求为主线”的总体要求，着重培养学生的实践应用技能，力求达到理论够用、技能过硬的培养目的，优化教学内容，设计教学环节，使学生能够快速入门，掌握高职高专学生必备的知识点和技能点。本书有如下特点。

1. 符合职业教育教学大纲要求，积极吸收职业教育课程改革成果，贯彻立德树人、提升职业素养的原则。在每个模块中利用视频、图片等形式向学生展示大国工匠先进人物的典型事迹，以他们所从事的工作和课程内容的关联为切入点，帮助学生树立社会责任感和使命感，培养学生具备严谨的职业态度和正确的职业观念。

2. 坚持“以就业为导向，以能力为本位”的原则。在编写时以图文并茂的形式展示教学内容，力求简单明了，表达深入浅出。

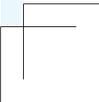
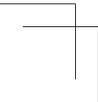
3. 内容贴合实际，符合高职学生的认知水平。在引出抽象的定义和概念时，尽可能从常见的工程实践出发，着力于应用分析，省略或简化数学推导过程。书中各模块均利用生产、生活中的典型案例引入教学内容，有较强的实践性，在环节设计上由易到难，层层递进，便于学生理解和掌握。

4. 设置巩固练习与课后习题，力求达到因材施教、分层次教学的目的。在每个课题后面设计了巩固练习和课后习题，帮助教师和学生及时发现问题、及时反馈、及时调整，最大限度地扫清学生学习的障碍，减轻学习负担。

本书由辽宁冶金职业技术学院牟作云担任主编，辽宁冶金职业技术学院韩瞧、崔巍、康元红担任副主编，参加编写的还有辽宁冶金职业技术学院于春艳、李冰和鞍钢集团本钢板材能源管控中心丁玉鑫。辽宁冶金职业技术学院机电系主任姬振宇教授担任本书主审，在此表示衷心的感谢！在本书的编写过程中，还得到了各级领导的大力支持，也得到了各位同人的无私协助，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏或不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者



目 录



上篇 常用机构

单元一 平面连杆机构	3
课题一 机械基础知识	3
课题二 平面机构及自由度	7
课题三 铰链四杆机构及其演化形式	22
课题四 平面机构的特性及设计	33
单元二 凸轮机构	42
课题一 凸轮机构概述	42
课题二 盘形凸轮轮廓曲线设计	50
单元三 间歇运动机构	57
课题一 棘轮机构	57
课题二 槽轮机构	63

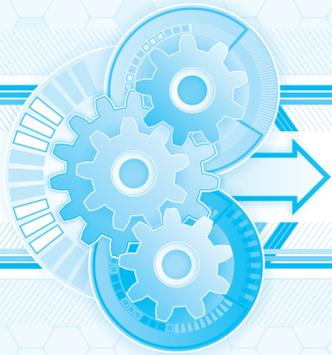
中篇 机械传动

单元四 螺纹连接及螺旋传动	71
课题一 螺纹概述	71
课题二 螺纹连接	79
课题三 螺旋传动	85
单元五 带传动和链传动	91
课题一 带传动	91
课题二 链传动	112
单元六 齿轮传动	123
课题一 直齿圆柱齿轮传动	123
课题二 其他齿轮传动	137
课题三 齿轮的失效形式、设计准则及常用材料	146
课题四 齿轮传动设计	153
课题五 蜗杆传动	165
单元七 齿轮系	177
课题一 定轴轮系	177
课题二 周转轮系	189

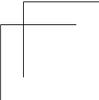
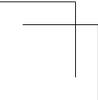


下篇 轴系零件

单元八 轴及轴毂连接	197
课题一 轴	197
课题二 键、销及其连接	209
单元九 轴 承	219
课题一 滑动轴承	219
课题二 滚动轴承	227
单元十 联轴器、离合器和制动器	240
课题一 联轴器	240
课题二 离合器和制动器	248
参考文献	257



上篇 常用机构



单元一

平面连杆机构

课题一 机械基础知识

学习目标

能力目标

1. 通过分析内燃机内部传动示意图，培养学生对常用机器、机构、构件、零件的观察、分析和识别能力。
2. 能分析内燃机、缝纫机等常用机器的作用，会说明机器、机构、构件、零件的区别和联系。

知识目标

1. 理解机器、机构、构件、零件、运动副的概念。
2. 明确机器总体与局部的关系。
3. 掌握机器与机构、构件和零件的区别与联系。

素质目标

1. 观看视频《大国重器——挖掘机组装》，了解我国制造业的发展状况。
2. 提高学生的学习兴趣，初步培养知识概括能力及学习本课程的方法。

课题导入

图 1-1 所示为单缸内燃机。你知道内燃机是如何进行工作的吗？它由多少零件和构件组成的？

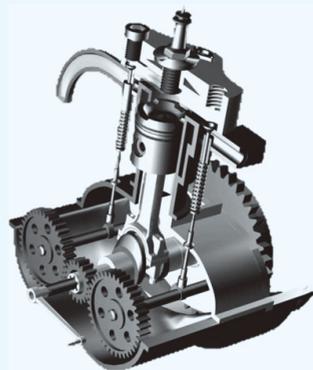


图 1-1 单缸内燃机



相关知识

机械是人类在劳动实践中创造出来的生产工具，在人类文明中起了重要作用。国民经济的各行各业都在使用不同形式、用途、结构的机械，现代化生产离不开机械。

一、机器

机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料与信息。

机器的特点、功能、组成及分类如表 1-1 所示。

表 1-1 机器的特点、功能、组成及分类

特 点	(1) 人为的多种实体的组合。 (2) 各部分之间具有确定的相对运动。 (3) 能完成有用的机械功或实现能量（信息）转换
功 能	能完成有用的机械功或实现能量（信息）转换
组 成	动力部分：机器动力的来源。 执行部分：完成预定动作，处于传动的终端。 传动部分：联系动力部分和执行部分的中间环节。工业生产中常见传动形式有机械传动、液压传动、气压传动和电气传动。 自动控制部分：自动化机器中的操纵控制系统和信息处理、传递系统
分 类	动力机器：实现能量变化的机器。将其他形式的能量转化成机械能。 加工机器：实现物料变化的机器。 运输机器：实现位置变化的机器。 信息机器：实现信息变化的机器

二、机构

机构是具有确定相对运动的构件的组合。机构的特点、功能和组成如表 1-2 所示。

表 1-2 机构的特点、功能和组成

特 点	(1) 人为的多种实体的组合。 (2) 各部分之间具有确定的相对运动
功 能	传递或改变运动形式（移动变转动、转动变移动等）
组 成	由一个或若干个构件组成

机构是机器的重要组成部分，只具备机器的前两个特征，不能做有用功，也不能实现能量和信息变化。单从构成和运动的角度看，机构和机器没有区别。

三、机械

机械是机器与机构的统称。



四、构件与零件

构件与零件的定义、功能及组成如表 1-3 所示。

表 1-3 构件与零件的定义、功能及组成

类型	定义	功能	组成	实例
构件	机器或机构中的相互之间能产生相对运动的物体	运动的最小单元	由一个或若干零件组成。可分为固定构件和活动构件	缝纫机踏板机构中的踏板、连杆等
零件	机器或机构中的相互之间不能产生相对运动，起固定连接作用的物体	制造的最小单元	不可再分	缝纫机踏板机构中起固定连接作用的螺栓、螺母等

综上，零件、构件、机构、机器和机械的关系如图 1-2 所示。

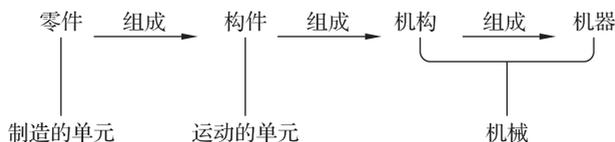


图 1-2 零件、构件、机构、机器和机械的关系

巩固练习

1. 观看内燃机运动简图动画，分析内燃机吸气—压缩—做功—排气四个工作过程是由哪些机构配合完成的。

解：该内燃机的四个工作过程是由平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构配合完成的。

2. 如图 1-3 所示为洗衣机的组成。洗衣机是怎样实现工作的？洗衣机是由哪些机构配合完成工作的？其内部有哪些构件和零件？

解：该洗衣机是通过电动机将动力传给带传动，经减速器输出动力使波轮旋转完成洗衣工作的。

洗衣机中的机构：带传动机构、齿轮机构。

构件：传动带、带轮、齿轮、波轮等。

零件：轴、螺栓、螺母、支承拉杆等。

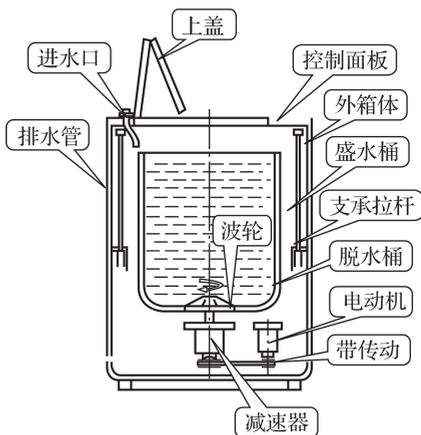


图 1-3 洗衣机的组成



课后习题

一、填空题

1. 机构的主要功用在于传递或转变_____。
2. 机器的主要功用是_____或者_____。
3. 一般机器由_____部分、_____部分_____部分和_____部分组成。
4. 单缸内燃机中的连杆是_____件，它是由螺栓、螺母、连杆盖、连杆体等_____组成的。
5. 一个构件可以是一个_____，也可以是若干相互_____相对运动的_____组成的刚体。

二、选择题

1. () 可以用来代替人的劳动，完成有用的机械功或实现能量转换。
A. 机构 B. 机器 C. 构件 D. 零件
2. 金属切削机床主轴属于机器的 ()。
A. 执行部分 B. 传动部分 C. 动力部分 D. 自动控制部分
3. 在单缸内燃机中，活塞属于 ()。
A. 构件 B. 零件 C. 机器 D. 机构

三、判断题

1. 由于内燃机能将气缸活塞的往复运动转变为曲轴的连续转动，故内燃机属于机构。 ()
2. 机构是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料与信息。 ()

四、问答题

如图 1-4 所示缝纫机是怎样实现工作的？缝纫机是由哪些机构配合完成工作的？其内部有哪些构件和零件？

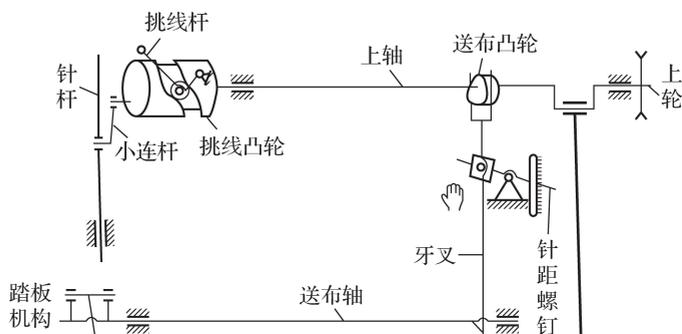


图 1-4 缝纫机



课题二 平面机构及自由度

学习目标

能力目标

1. 通过绘制内燃机机构运动简图，能看懂并绘制常用平面机构运动简图。
2. 会判断平面机构是否合理，并提出改进措施。

知识目标

1. 理解平面机构的组成，运动副、运动链表示方法。
2. 明确绘制机构运动简图的方法和步骤。
3. 掌握平面机构自由度的计算及注意事项、平面机构具有确定运动的条件。

素质目标

1. 观看视频《大国重器——挖掘机组装》，了解我国制造业的发展历程，激发学生的爱国情怀。
2. 通过自由度计算引入约束的概念，引导学生对自己的行为加以约束和限制，成为对社会有用的人。
3. 通过设计实例的改进，调动学生的学习积极性，培养学生积极创新的精神。

课题导入

一台机器即是一个系统，它的外形及结构都很复杂，为便于分析研究，在方案设计时通常用简单的线条和符号来表示实际的机械。工程技术人员应当熟悉机构运动简图的绘制方法。

图 1-1 所示的单缸内燃机的运动简图如图 1-5 所示。你知道内燃机内部各机构是如何配合工作的吗？内燃机的运动简图应如何绘制，绘制时应注意哪些问题？

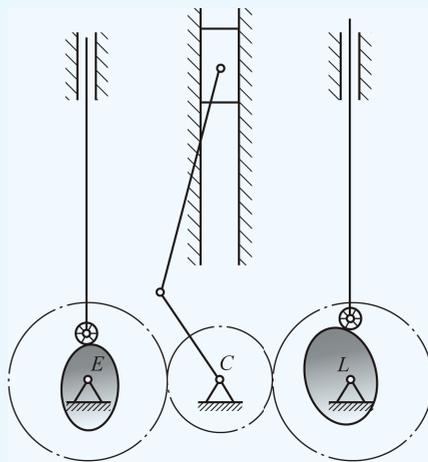


图 1-5 单缸内燃机运动简图



相关知识

机构中各构件之间应具有确定的相对运动，机构满足什么条件构件间才具有确定的相对运动，这对于分析现有机构或设计新机构都是十分重要的。

一、运动副及分类

组成机构的每个构件都要以一定的方式与其他构件相互连接，这种连接不是固定的，通过连接，各构件之间仍能有一定的相对运动。

（一）运动副

组成机构的所有构件都在同一平面或相互平行的平面内运动的机构，称为平面机构。机构中的每个构件都以一定方式与其他构件相连接。机构中使两个构件直接接触并能产生一定相对运动的连接，称为运动副。工程上常见的机构大多属于平面机构，所以，课题仅限于讨论平面机构。

（二）运动副的分类

平面机构中的两构件间的接触方式可分为点接触、线接触和面接触。根据运动副接触形式的不同，可将运动副分为高副和低副两类。

1. 高副

两构件通过点或线接触所构成的运动副称为高副，例如，图 1-6 (a) 中的凸轮与推杆为点接触，图 1-6 (b) 中的齿轮轮齿间的啮合为线接触。

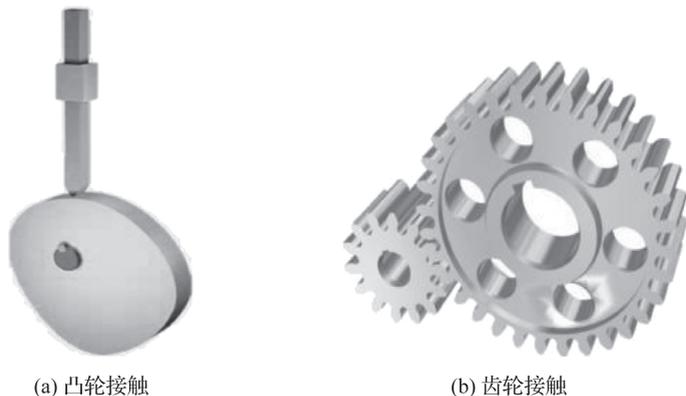
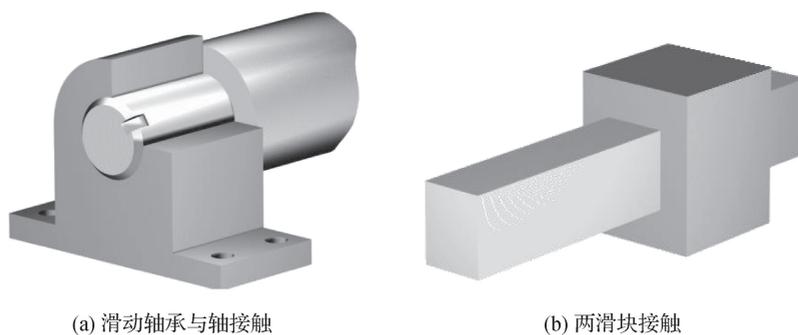


图 1-6 平面高副

2. 低副

两构件通过面接触所构成的运动副称为低副，平面低副按其相对运动形式又可分为转动副和移动副。

- (1) 转动副。两构件间只能产生相对转动的运动副称为转动副，如图 1-7 (a) 所示。
- (2) 移动副。两构件间只能产生相对移动的运动副称为移动副，如图 1-7 (b) 所示。



(a) 滑动轴承与轴接触

(b) 两滑块接触

图 1-7 平面低副

二、平面机构运动简图

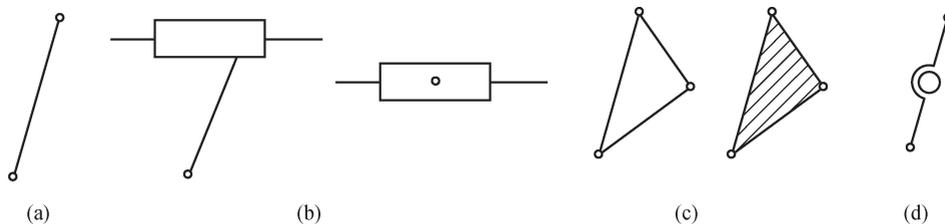
在研究或设计机构时，为了减少和避免机构复杂的结构外形对运动分析带来的不便和混乱，仅用简单的线条和符号来表示构件和运动副，并按比例画出各运动副的相对位置。

(一) 构件及运动副的表示方法

1. 构件

构件是组成机构的运动单元，在机器中往往是将若干个零件刚性地连接在一起，使它们成为一个独立运动的单元体。

在机构运动简图中，构件均用直线或小方框表示，如图 1-8 所示



(a)

(b)

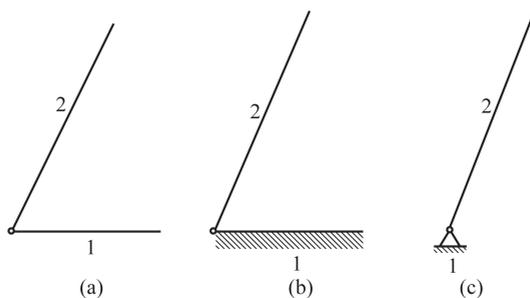
(c)

(d)

图 1-8 构件的表示方法

2. 转动副

两构件组成转动副时，表示方法如图 1-9 所示，圆圈表示转动副，其圆心必须与回转轴线重合，画有斜线的表示机架。



(a)

(b)

(c)

图 1-9 转动副的表示方法



3. 移动副

两构件组成移动副的表示方法如图 1-10 所示，画有斜线的表示机架。

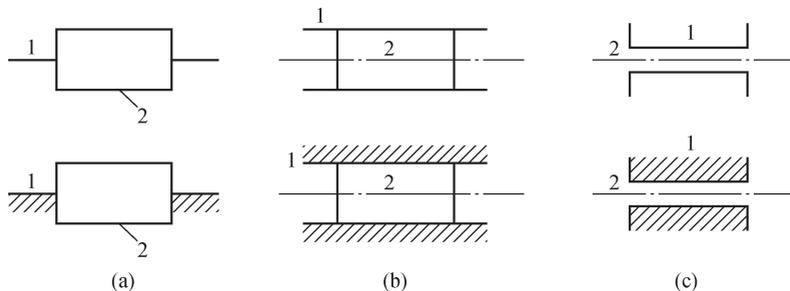


图 1-10 移动副的表示方法

4. 平面高副

两构件组成平面高副的表示方法如图 1-11 所示。

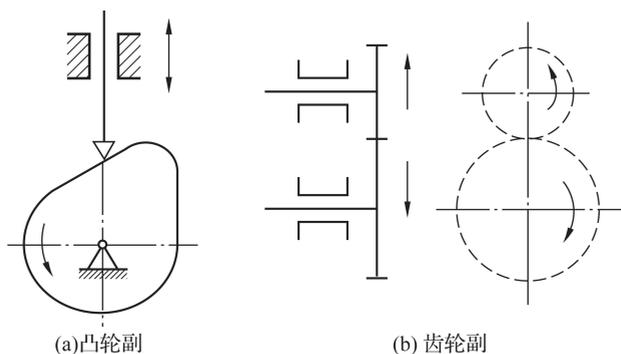


图 1-11 平面高副的表示方法

(二) 平面机构运动简图的绘制

用规定符号和简单线条表示机构各构件之间相对运动及运动特征的图形称为机构运动简图。机构运动简图所表示的主要内容有机构类型、构件数目、运动副的类型和数目以及运动尺寸等。对于只表示机构的组成及运动情况，而不严格按照比例绘制的简图，称为机构示意图。

绘制平面机构运动简图一般应按下列步骤进行。

- (1) 分析机构的组成，明确主动构件、从动构件和机架。
- (2) 从主动构件开始，沿运动传递路线，分析各构件间运动副的类型，并确定各构件的运动关系。
- (3) 选择适当的视图平面和主动件位置，清楚地表达各构件间的运动关系。
- (4) 选择适当比例，按照各运动副间的距离和相对位置，用规定的符号将各种运动副画出，然后用线条将同一构件上的运动副连接起来。

例如，绘制如图 1-12 (a) 所示颚式破碎机主体的运动简图。颚式破碎机主要由机架、



偏心轴 1、动颚 2 和肘板 3 组成。其工作原理：机构运动由带轮输入，而带轮与偏心轴 1 固连成一体（属同一构件），绕 A 转动，动颚 2 通过肘板 3 与机架相连，并在偏心轴 1 带动下做平面运动将矿石打碎。绘制的颞式破碎机主体的运动简图如图 1-12（b）所示。

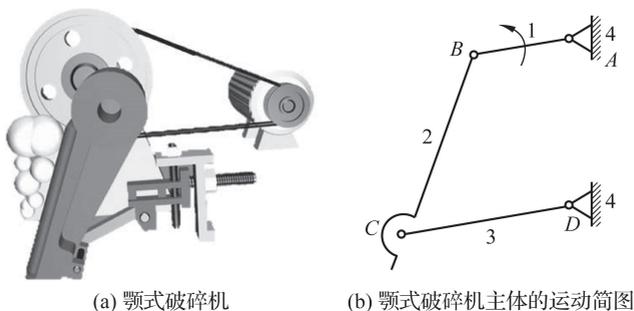


图 1-12 颞式破碎机主体机构及其运动简图

机构运动简图保持了其实际机构的运动特征，它不仅简明地表达了实际机构的运动情况，还可通过该图进行机构的运动分析和动力分析。

三、机构自由度

平面机构中的各构件之间应具有确定的相对运动，否则不能成为机构。若要判定几个构件通过运动副相连接起来的构件系统是否成为机构，就必须研究平面机构的自由度和机构具有确定运动的条件。

（一）构件的自由度

如图 1-13 所示，在平面运动中，一个自由构件具有三个独立的运动，即沿 x 轴和 y 轴的移动以及在 xy 平面内的转动。构件具有的独立运动数目，称为构件的自由度。做平面运动的自由构件具有三个自由度。

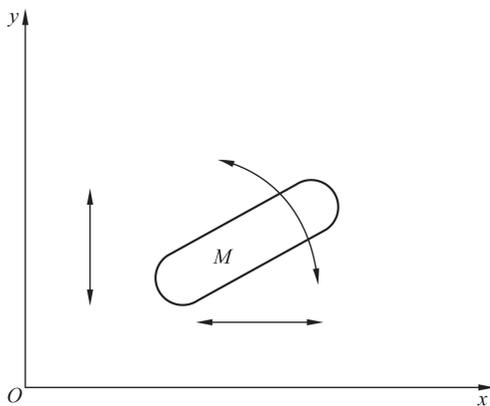


图 1-13 构件的自由度

（二）运动副对构件的约束

两个构件通过运动副连接后，它们的相对运动就会受到限制。这种对构件独立运动的



限制称为约束，由于约束的引入，使构件的自由度随之减少。运动副的类型不同，引入的约束数目也不等，所保留的自由度也不同。

如图 1-14 (a) 所示，转动副约束了构件沿 x 轴和 y 轴方向的移动，只保留了一个转动自由度。

如图 1-14 (b) 所示，移动副限制了构件沿 y 轴方向的移动和在 xy 平面内的转动，只保留了一个沿 x 轴方向的移动自由度。

如图 1-15 所示，高副只约束了沿接触处公法线方向的移动，保留了绕接触点转动和沿接触处公切线方向移动的自由度。

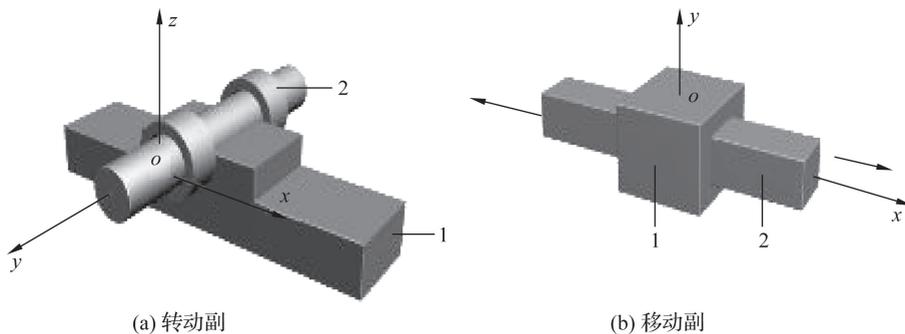


图 1-14 低副的自由度

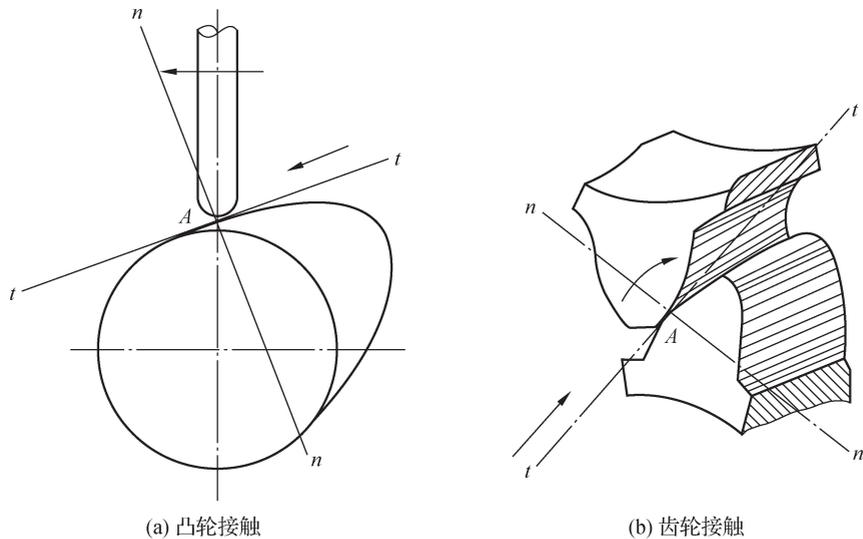


图 1-15 高副的自由度

由此可知，在平面机构中，每个低副引入两个约束，使构件失去两个自由度；每个高副引入一个约束，使构件失去一个自由度。

(三) 平面机构的自由度

设一个平面机构由 k 个构件组成，其中一个构件固定不动，称为机架，则该机构有 $n=k-1$ 个活动构件。各构件在未构成运动副之前，这些活动构件应有 $3n$ 个自由度。假设构



成 P_L 个低副和 P_H 个高副，则整个机构相对于机架的自由度应为活动件自由度的总数与运动副引入约束总数之差。以 F 表示机构的自由度数，则有

$$F=3n-2P_L-P_H \quad (1-1)$$

由式 (1-1) 可知，平面机构的自由度就是该机构中各构件相对于机架所具有的独立运动的数目。平面机构自由度与组成机构的构件数目、运动副的数目及运动副的性质有关。

例 1-1 试计算图 1-12 (b) 所示机构的自由度。

解：该颚式破碎机有 3 个活动构件，4 个转动副，没有高副和移动副。所以该机构的自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 3-2 \times 4=1$$

例 1-2 试计算图 1-16 所示机构的自由度。

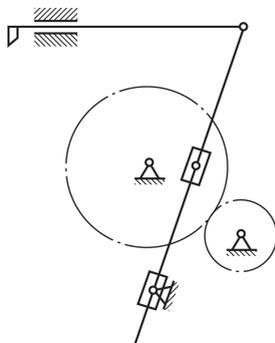


图 1-16 计算机构的自由度图例

解：该机构活动构件数 $n=6$ ，有 5 个转动副、3 个移动副、1 个高副。由此可得机构的自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 6-2 \times 8-1=1$$

(四) 计算平面机构的自由度应注意的事项

计算平面机构自由度时，应注意复合铰链、局部自由度和虚约束的问题。

1. 复合铰链

两个以上构件组成两个或更多个共轴线的转动副，即为复合铰链。

如图 1-17 所示为构件在 A 处构成的复合铰链。由其侧视图可知，此三构件共组成两个共轴线转动副。当由 k 个构件组成复合铰链时，则应当组成 $k-1$ 个转动副。

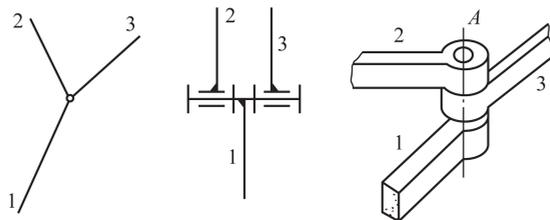


图 1-17 复合铰链



例 1-3 试计算图 1-18 所示机构的自由度。

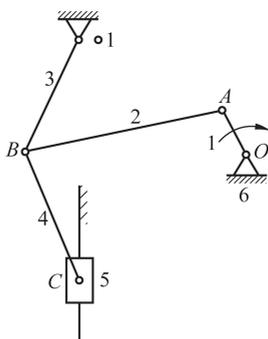


图 1-18 含复合铰链的机构自由度计算图例

解：该机构中， $n=5$ ， $P_L=7$ （ B 处为复合铰链）， $P_H=0$ ，所以该机构的自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 5-2 \times 7=1$$

在计算机构自由度时，应仔细观察是否有复合铰链存在，以免算错运动副的数目。复合铰链的常见场合如表 1-4 所示。

表 1-4 复合铰链常见场合

图 例	运动副类型	图 例	运动副类型
	杆 1、2 与机架 3 形成两个转动副		杆 1、2 与滑块 3 形成两个转动副
	杆 1、滑块 2 与机架 3 形成两个转动副		杆 1、滑块 2 与滑块 3 形成两个转动副
	杆 1、滑块 3 与齿轮 2 形成两个转动副		齿轮 1、滑块 2 与机架 3 形成两个转动副

2. 局部自由度

机构中不影响其输出与输入运动关系的个别构件的独立运动，称为机构的局部自由度。在计算机构自由度时，可预先排除。

如图 1-19 (a) 所示的平面凸轮机构中，为减少高副接触处的损伤，在从动件上安装一个滚子，使其与凸轮轮廓线滚动接触。显然，滚子绕其自身轴线的转动与否并不影响凸轮与从动件间的相对运动，因此滚子绕其自身轴线的转动为机构的局部自由度。在计算机构的自由度时应预先将转动副除去不计，或如图 1-19 (b) 所示，设想将滚子与从动件固连在一起作为一个构件来考虑。

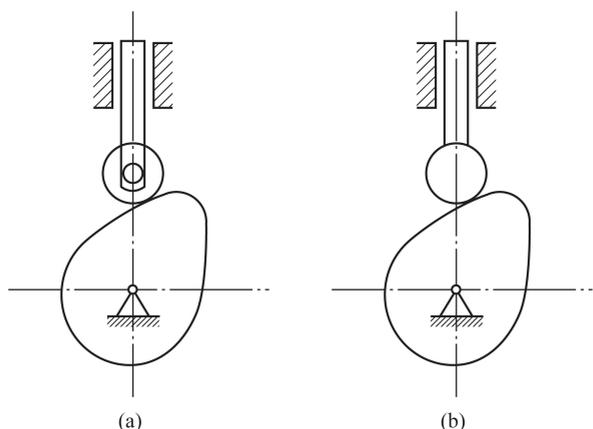


图 1-19 局部自由度

此时该机构中, $n=2$, $P_L=2$, $P_H=1$, 则机构的自由度 $F=3n-2P_L-P_H=3 \times 2-2 \times 2-1=1$ 。即此凸轮机构只有一个自由度, 是符合实际情况的。

例 1-4 试计算图 1-20 所示机构的自由度。

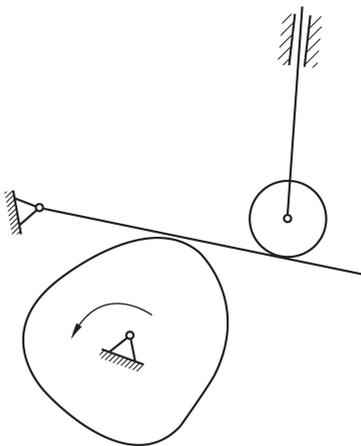


图 1-20 含局部自由度的机构自由度计算图例

解: 该机构中, $n=3$, $P_L=3$, $P_H=2$, 所以该机构的自由度为

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

3. 虚约束

在实际机构中, 有些运动副所起的约束作用是重复的, 这种不起独立限制作用的重复约束称为虚约束。在计算机构自由度时, 虚约束应除去不计。

平面机构中的虚约束常出现在以下情况中。

(1) 轨迹重合。连接构件上的轨迹和机构上连接点的轨迹重合时, 引入虚约束。如图 1-21 (a) 所示的平行四边形机构中, 连接构件上 M 点的轨迹与机构连杆 BC 上的轨迹重合, 构件引入了虚约束。计算机构的自由度时, 应按图 1-21 (b) 所示处理, 将构件及两个转动副 M 、 N 去掉。

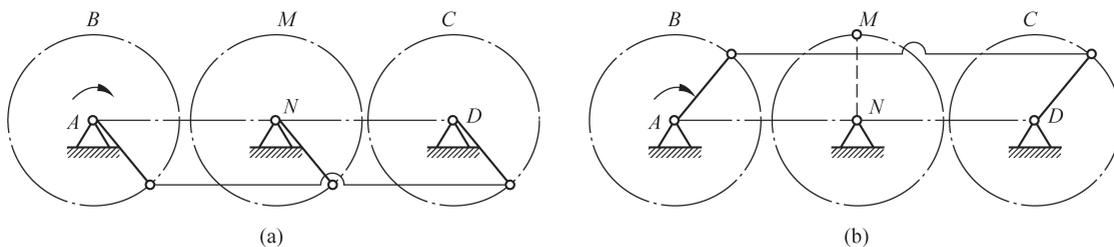


图 1-21 轨迹重合

(2) 导路平行或重合的移动副。当两构件构成多个导路相互平行的移动副时，会出现虚约束。如图 1-22 (a) 所示的曲柄滑块机构中，移动副 D 和 D' 只有一个起约束作用，另一个则为虚约束，计算时按图 1-22 (b) 所示处理。

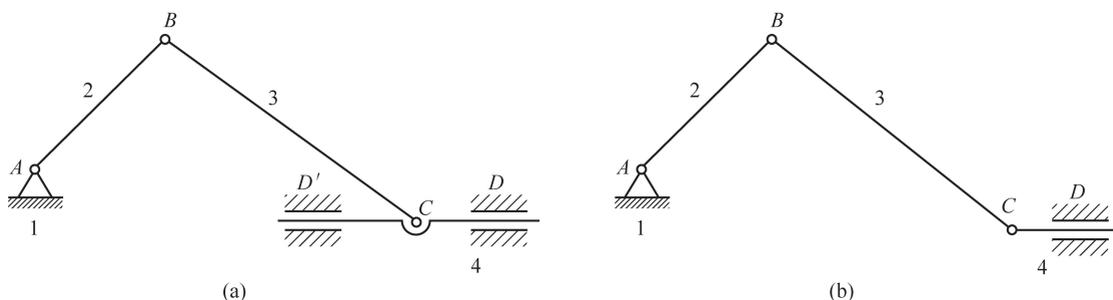


图 1-22 导路平行或重合的移动副

(3) 轴线重合的转动副。两构件构成多个轴线相互重合的转动副，会出现虚约束。如图 1-23 所示的齿轮机构中，转动副 A 和 A' 、 B 和 B' 只有一个起约束作用，另一个为虚约束。

(4) 传动对称。机构中传递运动而不起独立作用的对称部分形成虚约束，如图 1-24 所示的差动轮系。

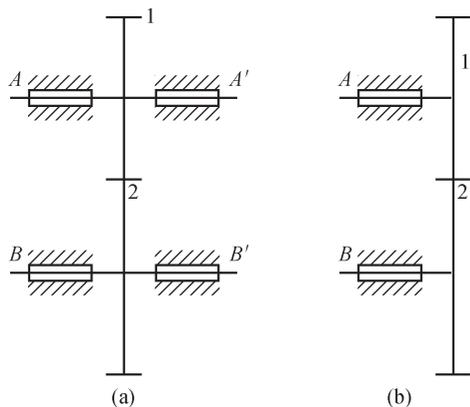


图 1-23 轴线重合的转动副

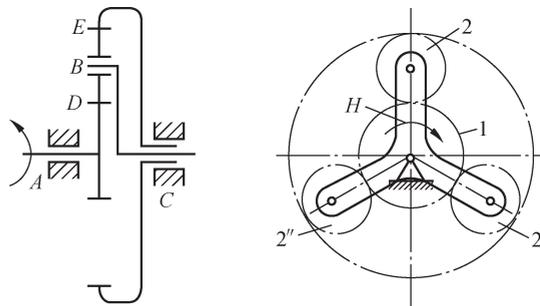


图 1-24 传动对称

例 1-5 试计算图 1-25 所示机构的自由度。



来检验动件的选择是否合理，原动件的数目是否正确，从而判断是否具有运动的确定性，进而得出其设计方案是否合理的结论。

2. 改进不合理的运动设计方案，使之具有确定的相对运动

(1) 如果设计方案的机构自由度 $F=0$ ，而设计要求机构具有一个自由度，一般可用在该机构中适当位置增加一构件带一平面低副的方法来解决。

(2) 对于设计方案中运动不确定的构件系统，可采用增加约束或原动件的方法使其运动确定，成为机构。为增加约束，一般可在其适当位置增加一个带有两平面低副的构件。这是因为一个构件有三个自由度，两平面低副引入四个约束，因此可使构件系统增加一个约束，减少一个自由度。用此办法，可以达到自由度等于原动件数的目的，从而使其具有确定的相对运动。

3. 判定测绘的机构运动简图是否正确

可通过计算测绘机构的自由度与实际机构原动件数是否相等，来判断其运动的确定性与测绘的机构运动简图的正确性。

例 1-6 如图 1-27 所示为一简易冲床，原动件凸轮 2 做逆时针匀速转动，经过摆杆 3 带动导杆 4 实现冲头的上下冲压动作。图 1-28 所示为其运动简图。试分析该机构设计方案有无错误。若有误，应该如何修改？试绘出正确的机构运动简图。

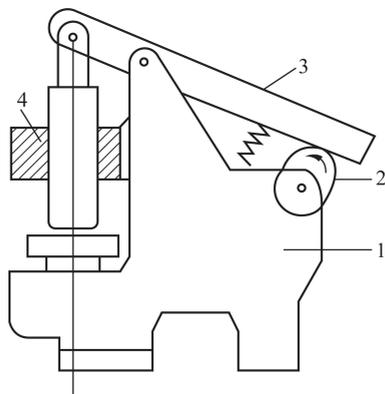


图 1-27 简易冲床

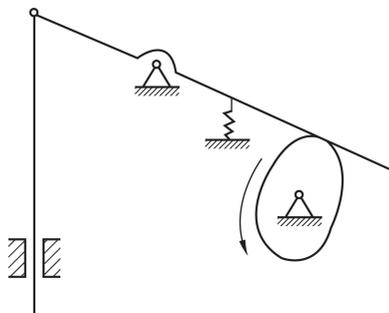


图 1-28 简易冲床的运动简图



解：图 1-28 中有 3 个活动构件、3 个转动副、1 个移动副、1 个高副，即 $n = 3$ ， $P_L = 4$ ， $P_H = 1$ ，则其自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 1 = 0$ 。说明机构不能运动，故设计不合理。

改进方案如图 1-29 所示。

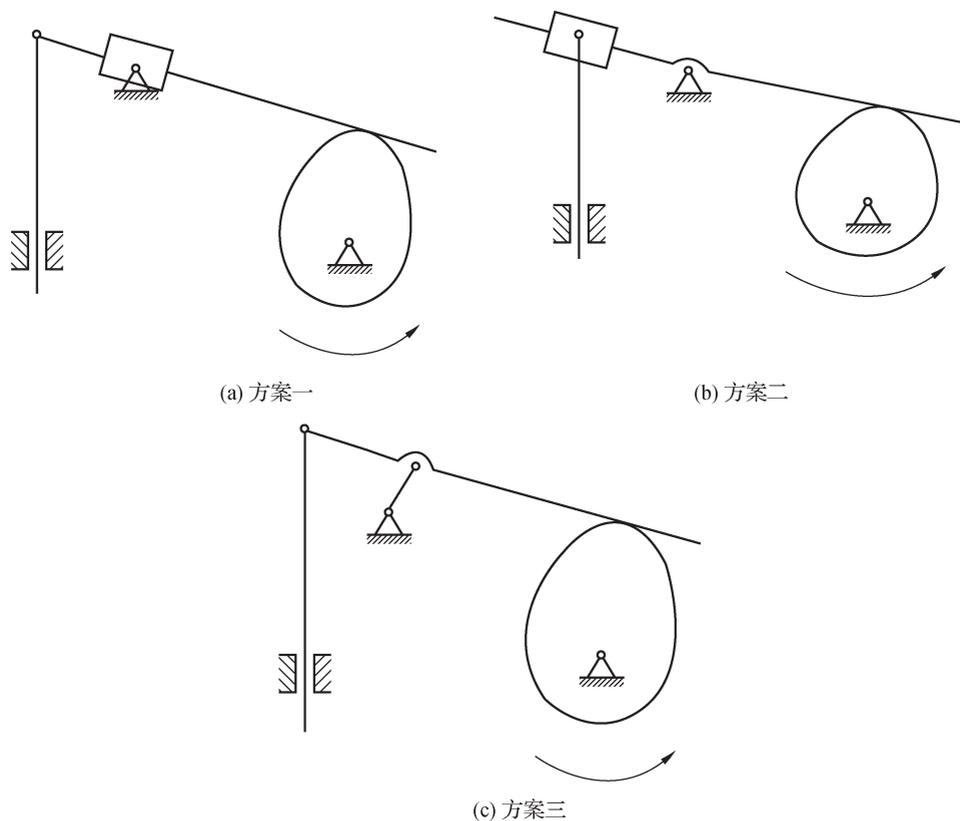


图 1-29 简易冲床改进方案



巩固练习

观看图 1-1 处的内燃机运动视频，绘制内燃机机构的运动简图，计算机构的自由度，判断机构绘制是否正确。

解：(1) 分析、确定构件类型。内燃机内包括三个机构，其运动平面平行，故可视为一个平面机构。活塞 2 为主动件，缸体 1 为机架，连杆 3、曲轴 4、齿轮 5、齿轮 6、凸轮轴 7、进气门顶杆 8、排气门顶杆 9 均为从动件（其中顶杆 8、9 为执行件，连杆 3、曲轴 4、齿轮 5、齿轮 6、凸轮轴 7 为传动件）。

(2) 确定运动副类型。曲柄滑块机构中活塞 2 与缸体 1 组成移动副，活塞 2 与连杆 3、连杆 3 与曲轴 4、曲轴 4 与缸体 1 分别组成转动副。齿轮机构中齿轮 5 与缸体 1、齿轮 6 与缸体 1 分别组成转动副，齿轮 5 与齿轮 6 组成高副。凸轮机构中凸轮轴 7 与缸体 1 组成转动副，顶杆 8 与缸体 1 组成移动副，凸轮轴 7 与顶杆 8 组成高副。



内燃机中的对称部分为虚约束，不用画出，凸轮从动件与凸轮间的滚子接触为局部自由度，运动简图中省略滚子。

(3) 定视图方向。连杆运动平面为视图方向。

(4) 选择比例尺，绘制简图，如图 1-30 所示。

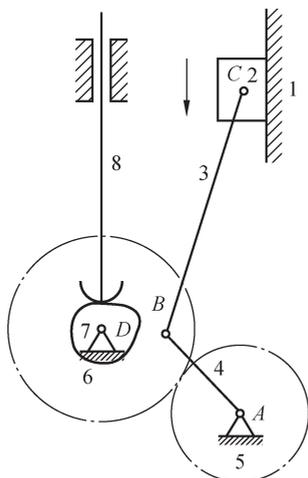


图 1-30 内燃机运动简图

先画出滑块导路中心线及曲轴中心位置，然后根据构件尺寸和运动副之间的尺寸，按选定的比例尺和规定符号绘出。

(5) 计算机构的自由度。运动简图中，曲轴 4 和齿轮 5，齿轮 6 与凸轮 7 同轴旋转，活动构件数为 2，所以机构中的 $n=5$ ， $P_L=6$ ， $P_H=2$ 。故其自由度

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 5-2 \times 6-2=1$$

因为内燃机中的主动件是气缸中的活塞，即主动件数为 1，计算出来的自由度数为 1，所以机构具有确定的相对运动，运动简图绘制正确。



课后习题

一、判断题

1. 机构是由两个以上构件组成的。 ()
2. 运动副的主要特征是两个构件以点、线、面的形式相接触。 ()
3. 机构具有确定相对运动的条件是机构的自由度大于零。 ()
4. 转动副限制了构件的转动自由度。 ()
5. 固定构件（机架）是机构不可缺少的组成部分。 ()
6. 四个构件在一处铰接，则构成 4 个转动副。 ()
7. 机构的运动不确定，就是指机构不能具有相对运动。 ()
8. 虚约束对机构的运动不起作用。 ()



二、计算题

计算下列机构（见图 1-31）的自由度。

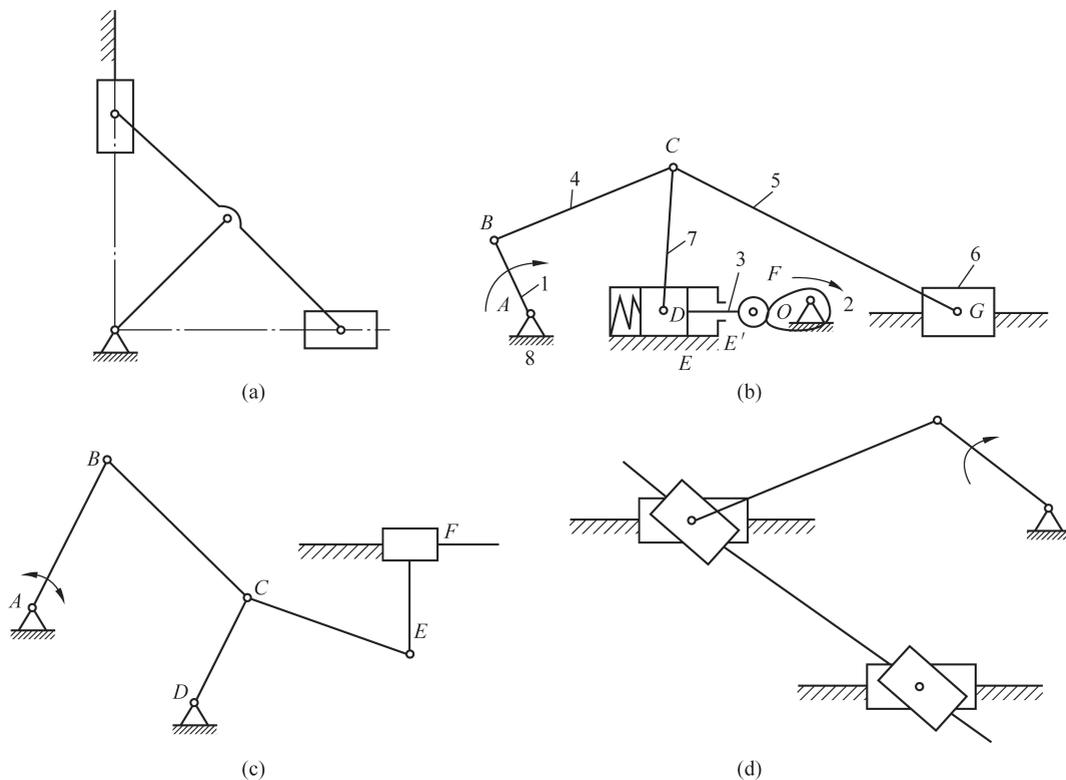


图 1-31 课后习题二

三、综合题

绘制下列机构（见图 1-32）的运动简图，并计算自由度。

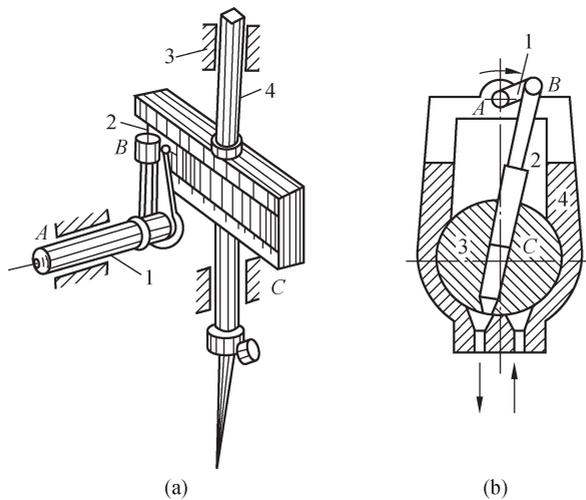


图 1-32 课后习题三