

机械工程概论

主 编 王 玉 张兆隆



北京理工大学出版社

高等职业院校面向“十三五”规划教材

机械工程概论

主 编	王 玉	张兆隆	
副主编	杨素艳	郭增欣	
参 编	杜海彬	郭山国	宋 伟
	张长军	张 鹏	张华瑾
主 审	高桂仙		

内 容 简 介

本教材根据高职高专人才的培养目标、教育部关于高职高专教育人才培养的基本要求及高等职业教育教学和改革的要求,并结合编者多年从事教研教改的经验编写而成。在内容安排上,突出了高等职业教育的特点。

教材共分三篇共 19 章:第一篇常用机构与传动,第二篇液压与气压传动,第三篇机械制造基础。第一篇包括第一章常用机构、第二章常用传动、第三章轮系、第四章通用零件;第二篇包括第五章液压传动概述、第六章液压泵、液压马达和液压缸、第七章液压控制阀、第八章液压辅助元件、第九章液压基本回路、第十章典型液压系统、第十一章气压传动;第三篇包括第十二章机械工程材料、第十三章金属热加工、第十四章金属切削加工概述、第十五章车削加工与车床、第十六章铣削加工与铣床、第十七章钻、镗、刨、磨加工及其设备、第十八章特种加工、第十九章机械加工自动化。

本教材可作为本科、高职高专电气工程、自动化、数控技术、计算机应用等专业的教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械工程概论 / 王玉, 张兆隆主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 4
(2016. 5 重印)

ISBN 978-7-5682-2161-0

I. ①机… II. ①王…②张… III. ①机械工程-高等学校-教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 075199 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 25

字 数 / 587 千字

版 次 / 2016 年 4 月第 1 版 2016 年 5 月第 2 次印刷

定 价 / 49.80 元

责任编辑 / 孟雯雯

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

“机械工程概论”是电气工程、自动化、数控技术、计算机应用等专业的一门综合性技术基础课程。本教材包括以下三大部分：机械传动基础、液压与气压传动基础、机械制造基础。

根据高职高专人才培养目标，本书的编写本着“应用为本、够用为度”的原则，以“机械工程基础知识”为主线，结合本课程的教学规律及提高教学效率，精选相关教学内容，注重简化理论，突出重点，力求实用。书中多采用简明易懂的插图，如立体图、结构图、工程图等，便于学生理解。

使用本教材学生可达到以下要求：

(1) 了解常用机构和通用零、部件的工作原理、结构特点和应用，初步具备使用和维护常用机械传动装置的能力；

(2) 了解液压与气压传动中常用元件及典型回路的工作原理、结构特点和应用，初步具备阅读简单液压与气压传动系统图的能力；

(3) 了解机械工程材料的一般知识、金属热加工基础知识和金属切削加工的常用方法及其要求，熟悉几种典型机床的用途、组成及其简单维护的基本知识，了解机床电气控制的典型操纵机构工作原理，并初步具备阅读一般机床传动系统图的能力；

(4) 了解几种常用的特种加工技术基本原理及其应用；

(5) 了解机械加工自动化的基本知识。

本教材可作为应用型本科、高职高专电气工程、自动化、数控技术、计算机应用等专业的教材，也可供机电类其他相关专业及工厂技术人员使用。

本教材编写人员，分工为：河北机电职业技术学院王玉（第一章）、张兆隆（第四章），石家庄职业技术学院郭增欣和河北机电职业技术学院张华瑾（第二章），河北机电职业技术学院张鹏（第五、六、十一章）、郭山国（第七、九、十章）、宋伟（第八、十五、十六章）、杜海彬（第十二、十三、十四章）、张长军（第十七、十八、十九章），河北能源职业技术学院杨素艳（第三章）。由王玉、张兆隆任主编，杨素艳和郭增欣任副主编。承蒙河北机电职业技术学院机械工程系高桂仙老师细心审阅，并提出很多宝贵意见和建议，在此深表感谢。

在编写过程中，我们参考了有关文献，在此对这些文献的作者表示衷心的感谢！

鉴于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请同行和广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 常用机构与传动

第一章 常用机构	3
第一节 基本概念	3
第二节 平面连杆机构	8
第三节 凸轮机构	14
第四节 螺旋机构	17
第五节 间歇运动机构	20
第二章 常用传动	30
第一节 带传动	30
第二节 链传动的类型和特点	36
第三节 齿轮传动	40
第四节 蜗杆传动	48
第三章 轮系	53
第一节 轮系的分类	53
第二节 定轴轮系传动比的计算	54
第三节 行星轮系传动比的计算	57
第四节 轮系的功用	59
第四章 通用零件	65
第一节 轴	65
第二节 轴承	69
第三节 连接零部件	77
第四节 联轴器、离合器和制动器	80

第二篇 液压与气压传动

第五章 液压传动概述	91
第一节 液压传动的原理和组成	91
第二节 液压传动的优缺点	93
第三节 液压传动的两个基本参数——压力、流量	94
第四节 液压传动用油的选择	97

第六章 液压泵、液压马达和液压缸	99
第一节 液压泵	99
第二节 液压马达	104
第三节 液压缸	106
第七章 液压控制阀	110
第一节 控制阀的作用及分类	110
第二节 方向控制阀	111
第三节 压力控制阀	118
第四节 流量控制阀	127
第五节 比例阀、插装阀和数字阀	130
第六节 液压伺服阀和电液伺服阀	139
第八章 液压辅助元件	147
第一节 过滤器	147
第二节 蓄能器	149
第三节 压力计和压力计开关	150
第四节 油管 and 管接头	151
第五节 阀类连接块	151
第六节 油箱	152
第九章 液压基本回路	155
第一节 压力控制回路	155
第二节 速度控制回路	162
第三节 方向控制回路	173
第四节 多缸控制回路	176
第十章 典型液压系统	184
第一节 组合机床动力滑台液压系统	184
第二节 数控车床液压系统	187
第三节 汽车起重机液压系统	190
第四节 液压机液压系统	195
第十一章 气压传动	201
第一节 气压传动的工作原理、组成及优缺点	201
第二节 气动元件	203
第三节 气动基本回路及系统实例	214

第三篇 机械制造基础

第十二章 机械工程材料	225
第一节 金属材料的主要性能	225
第二节 常用金属材料	229
第三节 钢的热处理	234

第四节 非金属工程材料.....	242
第十三章 金属热加工.....	246
第一节 铸造.....	246
第二节 锻压.....	254
第三节 焊接.....	263
第十四章 金属切削加工概述.....	276
第一节 切削运动和切削用量.....	276
第二节 金属切削刀具.....	278
第三节 金属切削过程.....	285
第四节 机床的分类与型号.....	288
第五节 机床传动系统的基本概念.....	291
第十五章 车削加工与车床.....	295
第一节 车削加工的范围和特点.....	295
第二节 CA6140 型卧式车床	297
第三节 其他车床.....	307
第十六章 铣削加工与铣床.....	312
第一节 铣削加工的范围和特点.....	312
第二节 X6132 型万能升降台铣床	314
第三节 其他铣床.....	322
第十七章 钻、镗、刨、磨加工及其设备.....	325
第一节 钻削加工与钻床.....	325
第二节 镗削加工与镗床.....	328
第三节 刨削加工与刨床.....	332
第四节 磨削加工与磨床.....	336
第十八章 特种加工.....	342
第一节 概述.....	342
第二节 电火花加工.....	343
第三节 电解加工.....	348
第四节 超声波加工.....	349
第五节 激光加工.....	351
第六节 电子束和离子束加工.....	352
第七节 复合加工.....	355
第十九章 机械加工自动化.....	359
第一节 组合机床及其自动线.....	359
第二节 数控机床.....	366
第三节 现代制造技术.....	372
参考文献.....	389

第一篇 常用机构与传动

第一章 常用机构

第一节 基本概念

机构是具有确定相对运动的构件组合。若机构中所有的构件均在同一平面或相互平行的平面内运动，则称为平面机构，否则称为空间机构。

一、运动副及其分类

两构件直接接触并产生相对运动的连接，称为运动副。如内燃机中气缸体与活塞、活塞与连杆、连杆与曲轴、曲轴与气缸体间的连接等，都是运动副。两构件只能在同一平面做相对运动的运动副，称为平面运动副。平面运动副按照两构件的接触特性分为高副和低副。

1. 高副

两构件通过点或线接触形成的运动副，称为高副，如图 1-1 (a) 所示中凸轮 1 与从动件 2 及图 1-1 (b) 中轮齿 3 与轮齿 4，它们分别在接触处 A 形成高副。

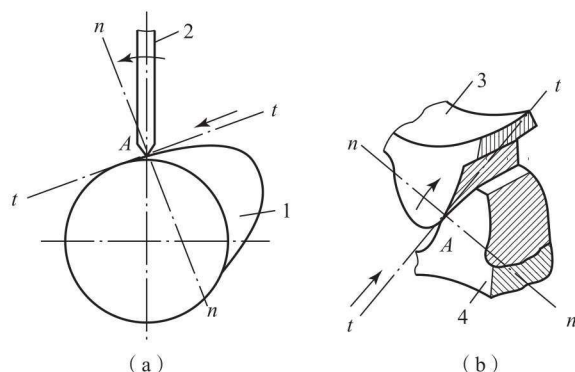


图 1-1 平面高副

1—凸轮；2—从动件；3、4—齿轮

2. 低副

两构件通过面接触形成的运动副，称为低副，如图 1-2 所示。低副按两构件间相对运动形式的不同，分为转动副和移动副。

(1) 转动副

如图 1-2 (a) 所示，构件 1 与 2 以圆柱面接触，两构件只能绕 z 轴做相对转动。两构

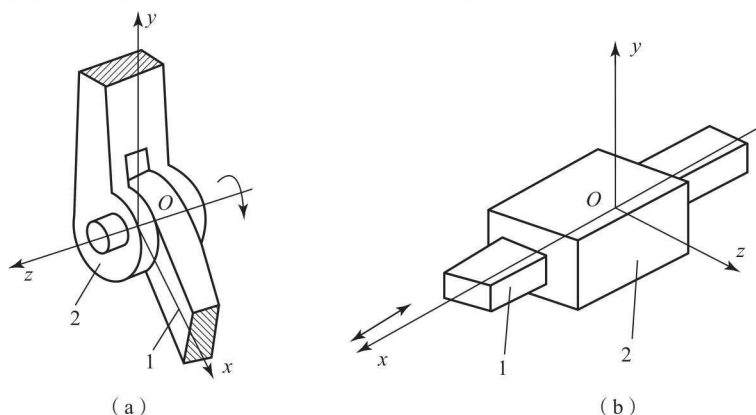


图 1-2 平面低副

件间只能做相对转动的低副，称为转动副或铰链。

(2) 移动副

如图 1-2 (b) 所示，构件 1 与 2 以平面接触，两构件只能沿 x 轴方向做相对移动。两构件间只能做相对移动的低副，称为移动副。

二、构件的分类

机构中的构件，按其运动性质不同，可分为三类。

(1) 机架

机构中固定不动的构件，用来支撑整个机构，如图 1-3 中的构件 4。

(2) 原动件

机构中运动规律已知的活动构件，一般与机架相连，如图 1-3 中的构件 1。一个机构可以有一个或几个原动件。

(3) 从动件

除原动件以外的其余活动构件。如图 1-3 中的构件 2 和 3 都是从动件。

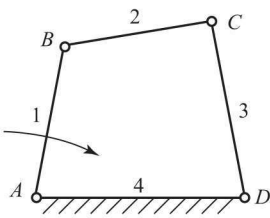


图 1-3 机构

三、平面机构运动简图

为了便于分析或设计，通常不考虑构件的外形、截面尺寸、组成构件的零件数目和运动副的实际结构，而是用简单的线条与规定的符号表示构件和运动副，并按比例确定各运动副间的相对位置，这种表达机构各构件间相对运动关系和运动特征的图形，称为机构运动简图。

只要求表示机构的组成和运动情况而不严格按比例绘制的机构运动简图，称为机构示意图。

四、构件和运动副的表示方法

1. 构件

构件一般用线段、小方块、封闭的曲线、点画线的圆周等来表示。

2. 转动副

图 1-4 所示为两构件间组成的转动副。图 1-4 (a) 表示组成转动副的两构件均是活动构件；图 1-4 (b) 和图 1-4 (c) 表示组成转动副的两构件中，构件 2 是活动构件，构件 1 为机架固定不动。圆圈用来表示转动副，其圆心代表回转轴线。

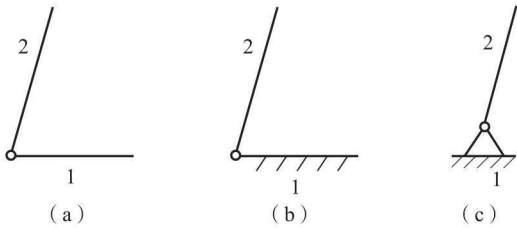


图 1-4 转动副的表示方法

3. 移动副

图 1-5 所示为两构件间组成的移动副。图 1-5 (a) 表示组成移动副的两构件均是活动

构件；图 1-5 (b) 表示组成移动副的两构件中，构件 2 是活动构件，构件 1 为机架固定不动。

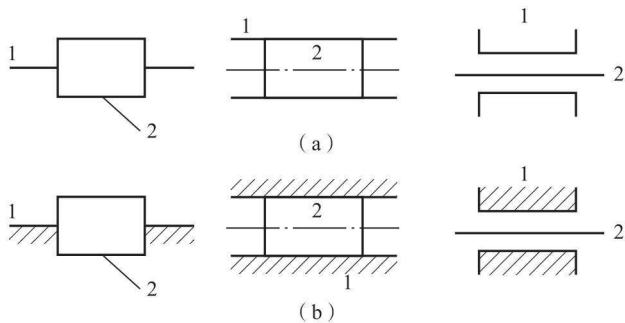


图 1-5 移动副的表示方法

4. 高副

高副用两构件接触处的曲线轮廓表示。图 1-6 所示为两构件间组成高副的表示方法。

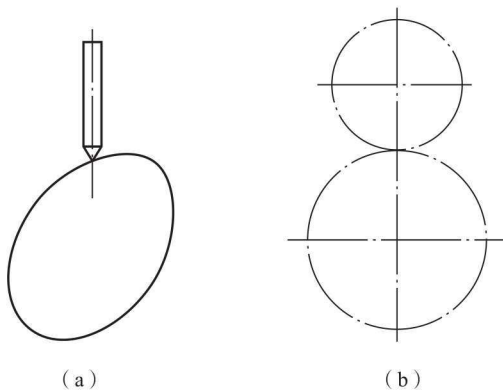


图 1-6 高副的表示方法
(a) 凸轮高副；(b) 齿轮高副

五、平面机构的自由度

1. 构件的自由度

如图 1-7 所示，构件 S 运动时，可以沿 x 轴、 y 轴方向移动和绕平面上任一点 A 转动。构件所具有的独立运动，称为构件的自由度。可见，做平面自由运动的构件具有三个自由度。

2. 运动副对构件的约束

两个构件通过运动副连接后，其相对运动会受到限制。运动副对构件独立运动的限制，称为约束。每增加一个约束，构件的自由度会相应减少。运动副的类型不同，引入的约束数目不同。如图 1-1 所示的高副，约束

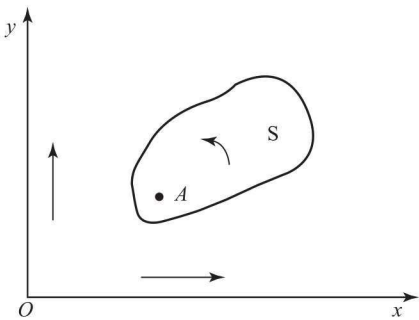


图 1-7 平面构件的自由度

构件沿接触处公法线 $n-n$ 方向的相对移动，保留沿接触处切线 $t-t$ 方向的相对移动和绕接触处的相对转动；如图 1-2 (a) 所示的转动副，约束构件沿 x 、 y 轴方向的相对移动，保留绕

z 轴的相对转动；如图 1-2 (b) 所示的移动副，约束构件沿 y 轴方向的相对移动和绕 z 轴方向的转动，保留沿 x 轴方向的相对移动。显然，高副引入一个约束，低副引入两个约束。

3. 平面机构自由度的计算

机构的自由度就是机构所具有的独立运动参数的数目。设一个平面机构由 n 个活动构件组成，它们在未通过运动副连接前，共有 $3n$ 个自由度。当用 P_L 个低副和 P_H 个高副连接组成机构后，每个低副引入两个约束，每个高副引入一个约束，共减少 $2P_L + P_H$ 个自由度，则平面机构自由度 F 的计算公式为

$$F = 3n - 2P_L - P_H \tag{1-1}$$

4. 机构具有确定运动的条件

机构的自由度就是机构所具有的独立运动参数的数目。显然，只有机构的自由度大于零，且机构输入的独立运动数目与机构的自由度数相等，机构运动才能确定。

当原动件数大于自由度数时，机构中较薄弱的构件或运动副可能被破坏，如图 1-8 所示。

当原动件数小于自由度数时，机构会出现运动不确定的现象，如图 1-9 所示。

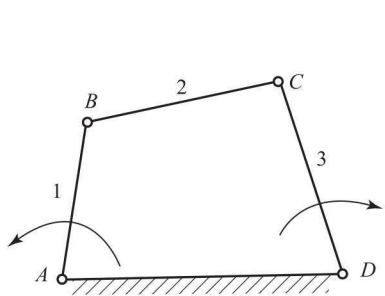


图 1-8 原动件数 $> F$

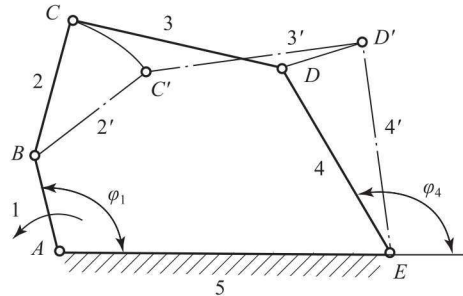


图 1-9 原动件数 $< F$

由上可知，机构具有确定相对运动的条件为：机构的自由度数与原动件数相等且大于零。

五、计算平面机构自由度的注意事项

应用式 (1-1) 计算平面机构自由度时，要注意以下几个问题。

1. 复合铰链

由两个以上的构件在一处组成的转动副，称为复合铰链。

图 1-10 所示为三个构件在点 A 处形成复合铰链。构件 1 分别与构件 2、构件 3 构成两个转动副。依次类推，若 k 个构件组成复合铰链，则应有 $k-1$ 个转动副。

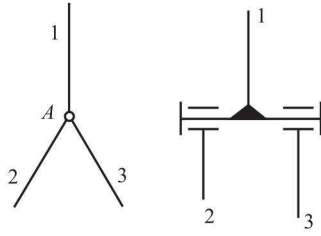


图 1-10 复合铰链

2. 局部自由度

机构中出现的与输出构件运动无关的自由度，称为局部自由度。在计算机构自由度时，局部自由度应除去不计。

如图 1-11 (a) 所示的凸轮机构，当原动件凸轮 1 绕 O 轴逆时针转动时，通过滚子 4 使从动件 2 在导路中往复移动。显然，滚子 4 绕其自身轴线 B 的转动并不影响从动件 2 的运动，所以滚子的这一转动属于局部自由度。在计算机构自由度时，假设将滚子 4 和从动件 2

焊成一体，如图 1-11 (b) 所示，这样就除去了局部自由度，故 $n=2$ ， $P_L=2$ ， $P_H=1$ ，其自由度为

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

由于机构的自由度数等于原动件数且大于零，故机构运动确定。

局部自由度虽不会影响机构的运动，但可增大支撑面积并减少高副处的摩擦和磨损，所以在机械中常有局部自由度。

3. 虚约束

在机构中，有些运动副引入的约束与其他运动副引入的约束相重复。这种对机构的运动不起独立限制作用的约束，称为虚约束。计算机构自由度时，虚约束应除去不计。

虚约束是在特定的几何条件下形成的，常见的虚约束有以下几种：

(1) 两构件上连接点的运动轨迹互相重合

如图 1-12 (a) 所示的平行四边形机构，该机构的自由度 $F=3n-2P_L-P_H=3\times 4-2\times 6-0=0$ 。计算结果表明，该机构不能运动。显然，这是不符合实际情况的。由于杆 EF 与 AB 、 CD 平行且长度相等，当原动件 1 转动时，连杆 2 做平移运动，其上各点的轨迹均为圆心在 AD 上，而半径等于 AB 的圆弧，即杆 2 上 E 点的轨迹与杆 5 上 E 点的轨迹互相重合。增加构件 5 后引入 3 个自由度， E 、 F 两个转动副引入 4 个约束。这个多引入的约束对机构的运动起重复约束作用，因而为虚约束，在计算机构自由度时应除去不计，即按图 1-12 (b) 所示计算机构的自由度。

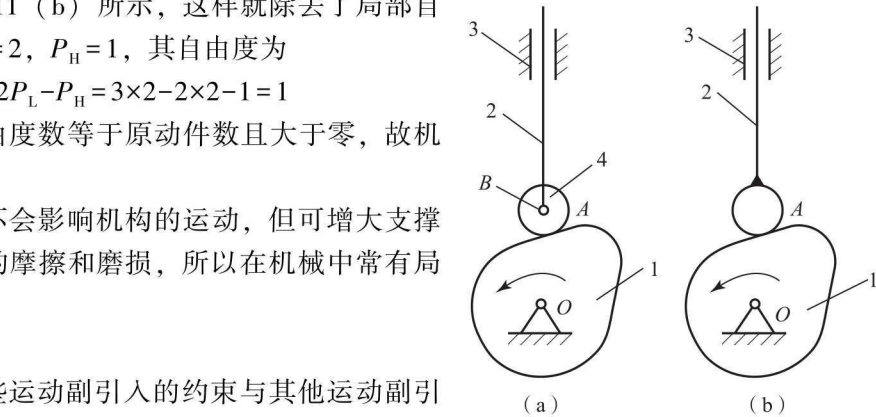


图 1-11 局部自由度
1—凸轮；2—从动件；3—机架

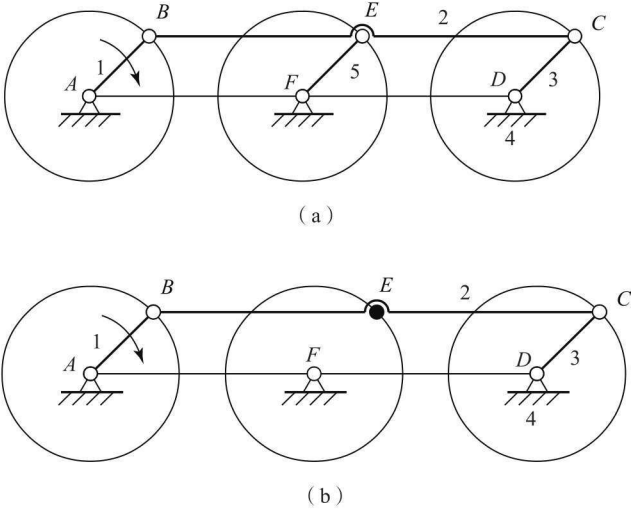


图 1-12 轨迹重合虚约束

1—主动曲柄；2—连杆；3—从动曲柄；4—机架；5—虚约束曲柄

(2) 两构件之间组成多个导路平行或重合的移动副

如图 1-13 所示，推杆与机架之间组成两个移动副，引入虚约束，在计算机构自由度时，应除去重复约束的部分。

(3) 两构件之间组成多个轴线重合的转动副

如图 1-14 所示，轴与轴承之间组成两个轴线重合的转动副，引入虚约束，在计算机构自由度时应除去不计。

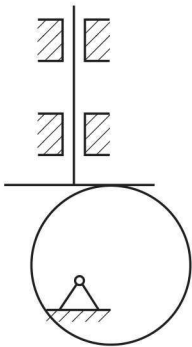


图 1-13 导路平行的虚约束

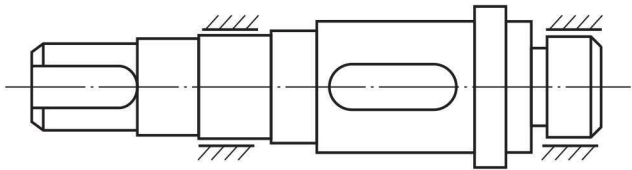


图 1-14 轴线重合的虚约束

虚约束对运动虽不起独立限制作用，但可以提高机构的刚性，改善受力状况，所以虚约束常用在机构设计中。

第二节 平面连杆机构

若干构件通过低副连接而成，且各构件都在同一平面内运动的连杆机构，称为平面连杆机构。

一、平面连杆机构的特点

平面连杆机构广泛应用于各种机械和仪表中，其主要优点有：

- 1) 由于连杆机构中的运动副都是面接触的低副，因而承受的压强小，便于润滑，磨损较轻，承载能力高；
- 2) 构件形状简单，加工方便，构件之间的接触是由构件本身的几何约束来保持的，故构件工作可靠；
- 3) 可实现多种运动形式之间的变换；
- 4) 利用连杆可实现多种运动轨迹的要求。

其缺点有：

- 1) 低副中存在间隙，构件数目较多时会产生较大的累积运动误差，从而降低运动精度，效率低；
- 2) 机构运动时产生的惯性力难以平衡，故不适宜于高速场合。

二、平面连杆机构基本型式

如图 1-15 所示，由四个构件通过转动副（铰链）连接而成的四杆机构，称为铰链四杆机构。其中，固定不动的构件 4 称为机架。与机架相连的构件 1 和 3 称为连架杆。在两连架杆中，能做整周转动的连架杆称为曲柄，不能做整周转动的连架杆称为摇杆，与机架不相连

的构件称为连杆。

1. 铰链四杆机构的基本类型

按连架杆是否为曲柄，铰链四杆机构可分为三种基本类型。

(1) 曲柄摇杆机构

在铰链四杆机构的两连架杆中，如果一个为曲柄，另一个为摇杆，则称为曲柄摇杆机构。通常曲柄为主动件做匀速转动，摇杆为从动件做变速往复摆动。如图 1-16 所示的颚式破碎机，当曲柄（轮 1）转动时，通过连杆 2 使摇杆（动颚 3）往复摆动，以粉碎矿石。

在曲柄摇杆机构中，也可以摇杆为主动件、曲柄为从动件。图 1-17 所示为脚踏砂轮机，踏板 CD 为摇杆，做上下摆动，通过连杆 BC ，带动曲柄 AB 连续转动，与曲柄固连的砂轮随之转动，以磨削工件。

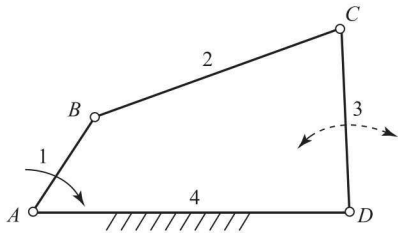


图 1-15 铰链四杆机构
1—连架杆；2—连杆；
3—连架杆；4—机架

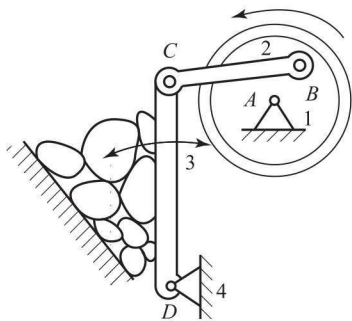


图 1-16 颚式破碎机
1—曲柄；2—连杆；3—摇杆；4—机架

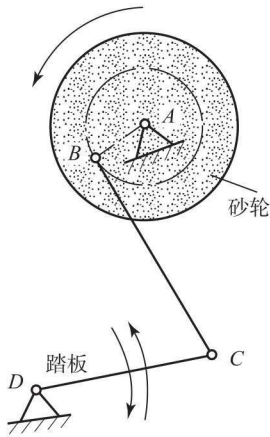


图 1-17 脚踏砂轮机

(2) 双曲柄机构

在铰链四杆机构中，若两连架杆均为曲柄，则称为双曲柄机构。

如图 1-18 所示的双曲柄机构。通常当主动曲柄 AB 做匀速转动时，从动曲柄 CD 做变速转动。如图 1-19 所示的惯性筛，当曲柄 AB 匀速转动时，另一曲柄 CD 做变速转动，使筛子具有所需要的加速度，利用加速度产生的惯性力使颗粒材料在筛算上往复运动，达到筛分的目的。

在双曲柄机构中，应用较广的是平行双曲柄机构，或称为平行四边形机构，如图 1-12 中的 $ABCD$ 所示，这种机构的对边长度相等，组成平行四边形。当杆 AB 匀角速转动时，杆 CD 以相同的角速度同向转动，连杆 2 则做平移运动。图 1-20 所示为机车

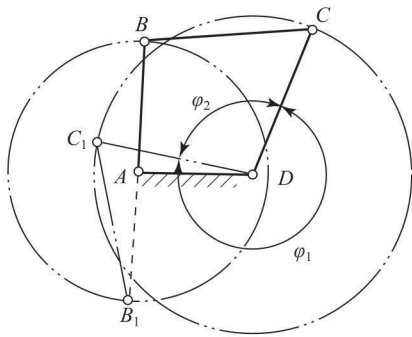


图 1-18 双曲柄机构

驱动轮联动机构。

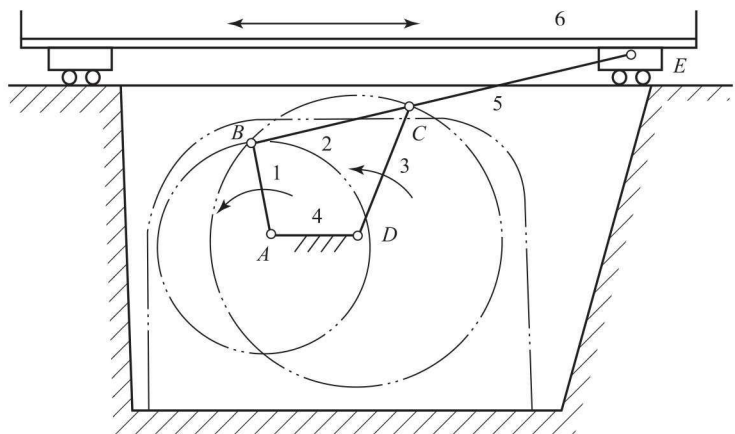


图 1-19 惯性筛

1—主动曲柄；2—连杆；3—从动曲柄；4—机架；5—构件；6—筛体

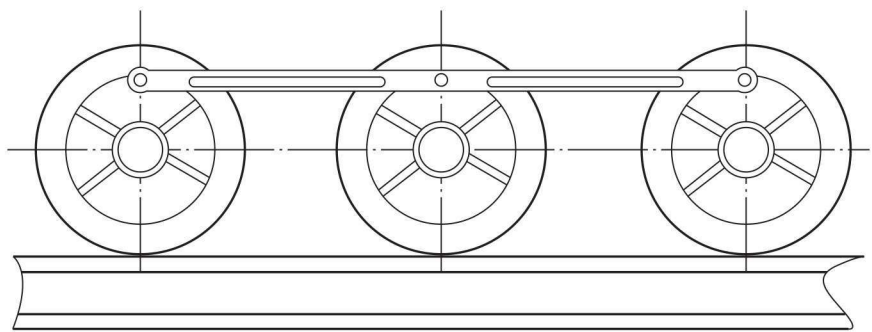


图 1-20 机车驱动轮联动机构

(3) 双摇杆机构

在铰链四杆机构中，若两连架杆均为摇杆，则称为双摇杆机构，如图 1-21 所示。图 1-22

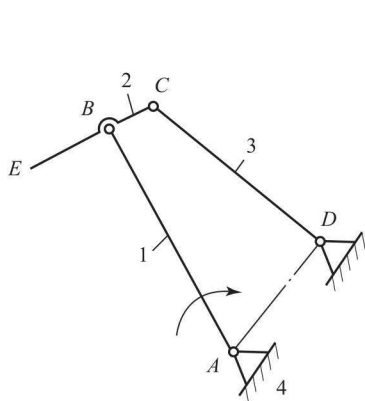


图 1-21 双摇杆机构

1—主动摇杆；2—连杆；3—从动摇杆；4—机架

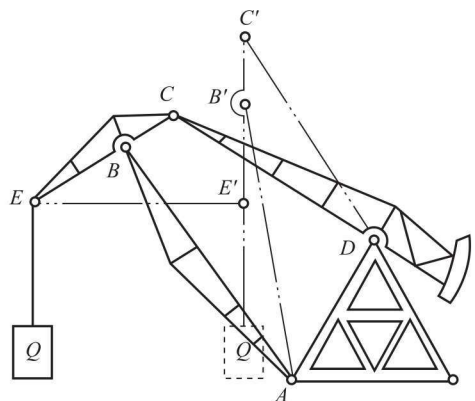


图 1-22 港口起重机的变幅机构