



高等职业教育“十二五”规划教材

JIXIE JICHU

机械基础

杨明霞 主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育“十二五”规划教材

机械基础

主 编 杨明霞

副主编 师超红 鲁辉虎 王锦翠

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

机械基础 / 杨明霞主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2015. 12
ISBN 978-7-5682-1676-0

I. ①机… II. ①杨… III. ①机械学-高等学校-教材 IV. ①TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 004419 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 / 15

字 数 / 351 千字

版 次 / 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

定 价 / 38.00 元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

前 言

高等职业教育肩负培养、生产、管理、服务第一线的高素质技能型专门人才的重要使命，其人才培养目标突出了应用性和技术性，在人才培养过程中必须重视理论与实践相结合。

“机械基础”是机械类专业核心课程体系的一门重要支撑课程。多年来，针对专业多样化、课程内容涉及面广泛和学生生源差异化的现状，不断探索，提高教学质量。我们的职业教育课程改革坚持以应用方式给学生实用知识，在对机械行业、产业工作岗位及职业能力进行深入调研的基础上，探讨对课程实施项目化教学改革，形成了以行动为导向的《机械基础》教材。

本教材在内容选取上，以岗位工作任务作为课程设置与内容选择的参照点。针对当前技术理论化的背景，在工作过程中技术已经转化为一个个具体工作任务的现状，这种技术对工作内容和工作方法的改造，导致了与任务联系的具体知识内容从过去的经验知识更多地转向了理论知识。本书依据“针对性和实用性”选取教学内容，过滤掉过难、过多、无用的内容，降低教学难度，突出教学重点。

在内容组织上，打破学科课程按照知识关系组织的内容体系，以工作过程为导向，每个任务针对机械类生产过程中的实例提出问题，调动学生的兴趣和积极性。在学习相关知识后，设置相关的任务实施环节，将基础课程和相关专业课程进行有机结合，培养学生分析和解决问题的能力。最后进行评价反馈，及时掌握学生学习状况，最终使课程内容以“做”为中心，促进学生对知识进行主动构建，以提升其完成任务的能力。

本书包含6个项目，包括常用机构、常用传动装置、常用连接及支承零部件、力学分析、机械工程材料性能及应用、公差与配合。每个项目均以机械生产中常用机械为研究对象，以培养学生解决工程实际问题的能力为目的。根据每个任务的特点，融入相关知识，并进行拓展，通过思考与练习，在使学生掌握新知识的同时，扩大了知识面，巩固了新知识，以适应未来就业形势的要求。

本书从项目一到项目三为机械基础知识，供机械类相关专业学生学习；从项目四到项目六为选修知识，可供矿山、汽车、印刷等专业根据实际需要进行取舍。

本书由运城职业技术学院杨明霞任主编，师超红、鲁辉虎、王锦翠任副主编。具体编写分工如下：杨明霞负责编写项目二；师超红负责编写项目三；鲁辉虎负责编写项目一、项目五，王锦翠负责编写项目四、项目六。

由于编者水平有限，教材中难免存在一些疏漏和不妥之处，欢迎读者和同行提出宝贵意见。

编 者

目 录

项目一 常用机构	1
任务一 认识常用机构	1
任务二 常用机构运动简图绘制	7
任务三 常用机构自由度计算	11
任务四 平面四杆机构特性分析	18
任务五 凸轮机构特点分析	28
任务六 间歇运动机构特点分析	35
项目二 常用传动装置	41
任务一 认识常用传动装置	41
任务二 带传动、链传动的应用	48
任务三 分析直齿圆柱齿轮传动	59
任务四 分析蜗杆减速器传动	76
任务五 认识轮系	80
任务六 液压千斤顶液压传动系统分析	88
项目三 常用连接及支承零部件	98
任务一 螺纹连接及螺旋传动	98
任务二 齿轮与轴的键连接	109
任务三 常用联轴器、离合器的选用	117
任务四 手动变速器输出轴分析	123
任务五 汽车变速器轴承	130
项目四 力学分析	144
任务一 活塞连杆组受力分析	144
任务二 转向盘受力分析	154
任务三 连接螺栓承载能力分析	161

项目五 机械工程材料性能及应用.....	184
任务一 认识常见工程材料.....	184
任务二 常见金属材料及选材.....	191
项目六 公差与配合.....	199
任务一 尺寸公差与配合.....	199
任务二 几何尺寸公差.....	216
任务三 表面粗糙度要求.....	224
参考文献.....	233



项目一

常用机构



项目描述

机械是机器和机构的统称。我们日常生活和生产实践中常见的机械产品，如自行车、汽车、各种机床等，都是机器或机构。

本项目以生活中常见机构（机器）为例，增强初学者对机构（机器）的感性认识，明确机器、机构、零件、部件的概念。熟悉平面四杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等常用机构的类型、运动特点、结构特点，并了解其在生活中的应用。

任务一 认识常用机构

知识要求：

1. 掌握机械、机器、机构、构件、零件、部件等的概念；
2. 了解常见机构的组成、原理及运动规律。

技能要求：

1. 能识别常见的机器和机构，并分析它们的功用和组成；
2. 能辨别机器中的机构、构件、零件和部件。



任务描述

为了方便日常生产及生活，人类发明设计了许多机器（机构），比如缝纫机、发动机、手动抽水机、汽车自卸机构、发动机配气机构等。常见的机械有很多种，哪些属于机器，哪些属于机构呢？这些机械如何组成？它们又是如何实现工作的呢？



一、机器与机构

1. 机器

在现代的日常生活和工程实践中随处可见各种各样的机器，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。例如，汽车、飞机、缝纫机、起重机、复印机、电动机、机床、机器人等都属于机器的范畴。

机器的种类繁多，可以按几个不同方面分类。其中，按功能可分为动力机械、运输机械、粉碎机械等；按服务的产业可分为农业机械、矿山机械、纺织机械等；按工作原理可分为热力机械、流体机械、仿生机械等。

各种机器虽然结构形式、运动规律及功用不同，但都具有共同特征：

- 1) 它们都是人为实体（构件）的组合；
- 2) 各个运动实体（构件）之间具有确定的相对运动；
- 3) 能够实现能量的转换，代替或减轻人类完成有用的机械功。

我们把能够同时具有以上三个特征的机械统称为机器。

现代机器一般由动力部分、传动部分、执行部分、操纵控制部分和辅助部分五部分组成，它们之间的关系如图 1-1 所示。

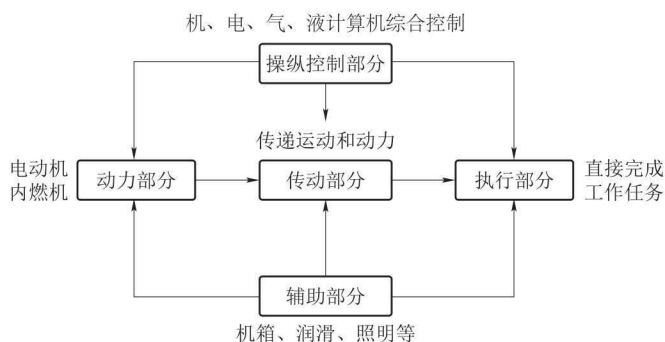


图 1-1 机器的组成



图 1-2 3D 打印机

随着伺服驱动技术、检测传感技术、自动控制技术、信息处理技术、材料及精密技术、系统总体技术等飞速发展，使传统机械在产品结构和生产系统结构等方面发生了质的变化，形成了一个崭新的现代机械工业。现代机器已经成为一个以机械技术为基础，以电子技术为核心的高新技术综合系统。例如，如图 1-2 所示的 3D 打印机。

2. 零件和部件

从制造的角度看，机器是由若干个零件装配而成的。

零件是机器中不可拆卸的制造单元,有时为了装配方便,先将一组协同工作的零件分别装配或制造成一个个相对独立的组合体,然后再装配成整机,这种组合体常称为部件(或组件)。例如:内燃机的连杆,车床的主轴箱、尾座,滚动轴承以及自行车脚蹬子等。将机器看成是由零部件组成的,不仅有利于装配,也有利于机器的设计、运输、安装和维修等。

3. 构件和机构

从运动的角度看,机器是由若干运动的单元所组成的,这种运动单元称为构件。构件可以是一个零件,也可以是若干零件的刚性组合体。如图 1-3 所示,螺母、螺栓是由一个零件构成一个构件;如图 1-4 所示,连杆是由连杆体、连杆头和螺栓、螺母等多个零件刚性组合而成的一个构件。各构件之间通过运动副连接。



图 1-3 螺栓、螺母

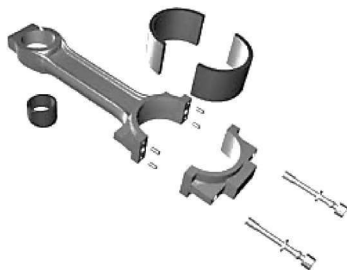


图 1-4 连杆

将若干个构件连接起来,使其具有确定相对运动的各种实体的组合系统称为机构。机构主要用于传递和变换运动。常用机构有齿轮机构、连杆机构、凸轮机构等。将机器视为一个机构或若干个机构的组合,这就为机器的运动分析带来了方便。

仅从结构和运动的观点看,机器与机构并无区别,它们都是构件的组合,各构件之间具有确定的相对运动。因此,通常人们把机器与机构统称为机械。

二、常用机构的类型、特点及应用

1. 平面连杆机构

日常生活中,我们经常接触到一些简单机构,其中缝纫机脚踏板(图 1-5)就是一种典型机构,它将脚踏板的往复摆动转换成带轮的连续转动,从而驱动缝纫机;再如利用图 1-6 所示的简单机构可以调整雷达天线仰角。这类机构一般由若干构件通过铰链或滑道等连接而成,并且所有构件的运动部分均在同一平面或相互平行的平面中运动,我们将此类机构称为平面连杆机构,因构件形状多呈杆状,故简称连杆机构。鹤式起重机机构(图 1-7)、风扇摇头机构(图 1-8)、惯性筛机构(图 1-9)、摄影平台机构(图 1-10)等都是典型平面连杆机构在生活、生产中的应用。

常见的连杆机构有四杆机构、五杆机构、多杆机构等,其中平面四杆机构是最简单的平面机构,本书中所涉及的平面连杆机构主要为四杆机构及其演化形式。

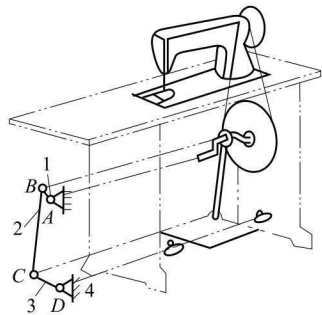


图 1-5 缝纫机脚踏板机构

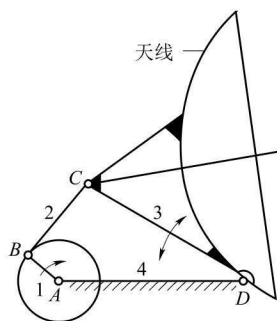


图 1-6 雷达天线仰角调整机构

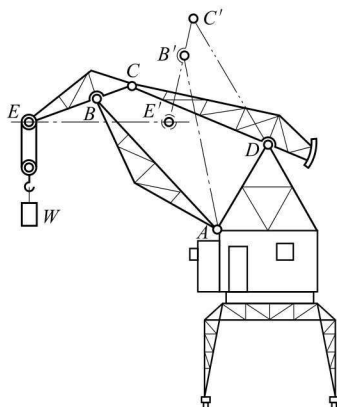


图 1-7 鹤式起重机机构

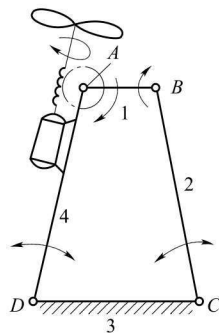


图 1-8 风扇摇头机构

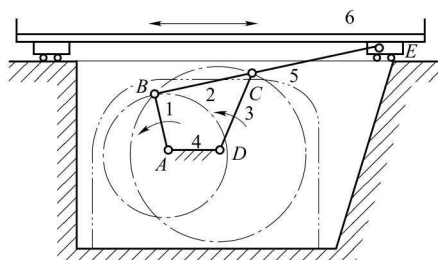


图 1-9 惯性筛机构

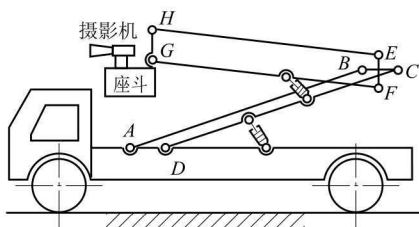


图 1-10 摄影平台机构

通过分析以上几种机构可总结出平面连杆机构具有以下特点：

- 1) 能够进行多种运动形式的转换；
- 2) 构件之间连接处是面接触，单位面积上的压力较小、磨损较慢，可以承受较大载荷；
- 3) 两构件接触表面是圆柱面或平面，制造容易；
- 4) 连接处间隙造成的积累误差较大；
- 5) 连杆机构运动时产生惯性力，不适用于高速场合。

平面连杆机构广泛应用于各种机器和仪器中，例如金属加工机床、起重运输机械、采矿机械、农业机械、交通运输机械和仪表等。

2. 凸轮机构

在各种机器，特别是自动化机器中，为实现某些特殊或复杂的运动规律，常采用凸轮机构。凸轮机构通常是由原动件凸轮、从动件和机架组成，其功能是将凸轮的连续转动或移动转换为从动件的连续或不连续的移动或摆动。与连杆机构相比，凸轮机构便于准确地实现给定的运动规律，但由于与从动件通过点接触或线接触，所以易磨损，凸轮机构制造比较困难。

图 1-11 (a) 所示为内燃机配气机构。当凸轮 1 做等速转动时，其轮廓通过与气阀 2 的平底接触推动气阀上、下移动，使气阀按内燃机工作循环的要求有规律地开启和闭合。

图 1-11 (b) 所示为自动送料机构。当凸轮 1 等速转动时，其上曲线凹槽的侧面推动从

动件 2 做往复移动, 从而实现连续送料和退回运动。

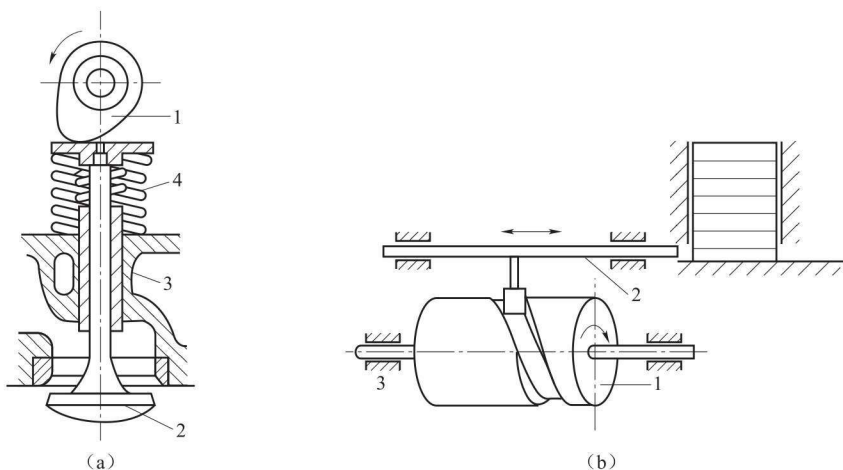


图 1-11 凸轮机构

(a) 内燃机配气机构

1—凸轮; 2—气阀; 3—机架; 4—压缩弹簧

(b) 自动送料机构

1—凸轮; 2—从动件; 3—机架

通常, 凸轮机构从动件的运动规律 (指位移、速度、加速度与凸轮转角或时间之间的函数关系) 取决于凸轮的轮廓曲线形状。

3. 间歇运动机构

在机械系统的驱动、传动、控制和操作装置中, 经常需要某些能将主动件的连续运动转换为从动件有规律的时停、时动的间歇运动的机构, 这类机构统称为间歇运动机构。如图 1-12 所示的电影放映机卷片机构和图 1-13 所示的自动浇注输送装置即是间歇运动机构的应用。

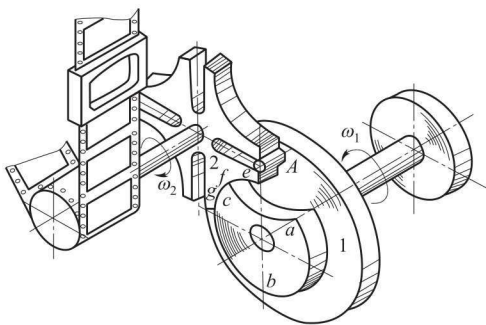


图 1-12 电影放映机卷片机构

1—拨盘; 2—槽轮

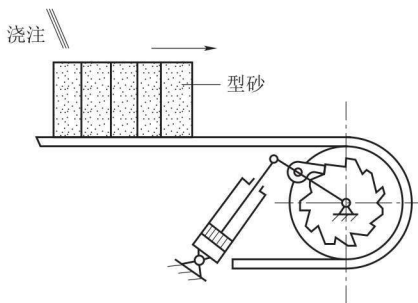


图 1-13 自动浇注输送装置

间歇运动机构根据其结构原理不同可以分为棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构和齿轮齿条机构等几类, 具体内容将在任务四中详细介绍。

[例 1-1] 分析如图 1-5 所示缝纫机脚踏板机构的运动。

解: 缝纫机脚踏板机构由缝纫机机架、脚踏板、连接杆和曲轴 (带轮) 组成。

缝纫机工作时，动力由脚踏板输入，首先脚踏板绕机架做相对往复摆动，通过连接杆和曲轴将运动传递到带轮，最后通过带传动驱动缝纫机工作。

缝纫机脚踏板机构将脚踏板的往复摆动转化为带轮的整周转动，实现了运动形式的转换。

任 务实施

根据所学相关知识完成以下任务。

- 1) 指出单缸内燃机主体结构（图 1-14）中的零件、部件、构件及机构。
- 2) 分析颚式破碎机（图 1-15）的工作原理。

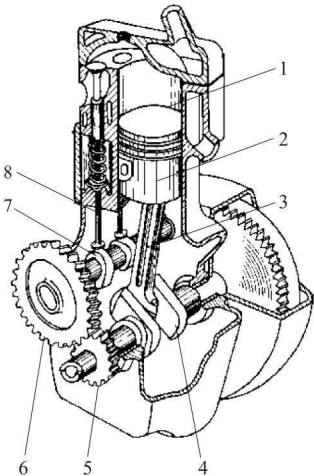


图 1-14 单缸内燃机主体结构

1—气缸体；2—活塞；3—连杆；4—曲轴；5—小齿轮；
6—大齿轮；7—凸轮；8—推杆

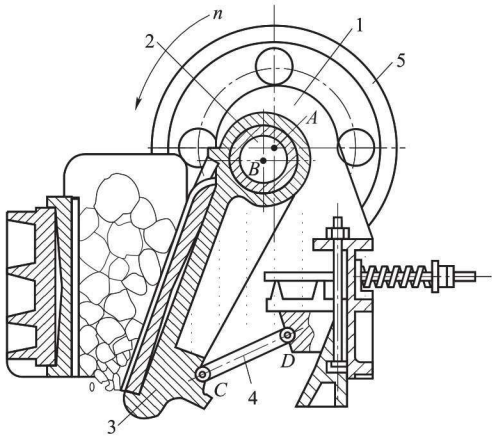


图 1-15 颚式破碎机主体结构

1—机架；2—偏心轴；3—动颚板；4—肋板；5—带轮

- 3) 举例说明常见机构在日常生活及生产中的应用。

评价反馈

序号	评价项目	自我评价	小组评价	教师评价
1	是否能够区分机器与机构			
2	是否能够分析常见机构的功能			
3	是否能够分析常用机构的应用			

思考与练习

- 1. 何谓机器和机构？应该如何理解这两个概念？

2. 何谓构件和零件？两者之间有何区别和联系？
3. 试用生活中的实际例子说明机器和机构的区别，并从运动和加工制造两个不同的角度来分析它们的组成。
4. 常见机构有哪几类？试举例说明。

任务二 常用机构运动简图绘制

知识要求：

1. 了解运动副、高副、低副等概念；
2. 熟悉机构运动简图的定义；
3. 掌握机构运动简图的绘制步骤及方法。

技能要求：

1. 能分析常用机构的运动过程；
2. 能绘制常用机构的运动简图。

任务描述

在机械分析、设计过程中，需要对机械结构进行清晰的表达，一般采用机构运动简图或示意图的方式对机械进行结构及运动分析。那么什么是机构运动简图？如何绘制机构运动简图呢？本任务将详细介绍相关内容。

知识准备

一、运动副及其分类

1. 运动副

机构是由具有确定相对运动的若干构件组成的。组成机构的相邻两构件之间必定以一定的方式连接起来并实现确定的相对运动。这种两个构件之间的可动连接称为运动副。本书主要分析平面机构中的运动副，即平面运动副。构件组成运动副后，其独立运动将受到限制。例如，图 1-5 中脚踏板与机架之间形成的转动连接就是运动副，此时，脚踏板仅能绕机架做相对转动。

2. 运动副的分类

运动副中两构件接触形式不外乎点、线、面三种，根据运动副接触形式不同，通常将运动副分为低副和高副。两构件通过面接触形成的运动副称为低副，按两构件间相对运动形式不同，还可将低副分为转动副和移动副。如图 1-16 (a) 所示，两个构件铰接成运动副后，两构件仅能绕轴在 $X-Y$ 平面内做相对转动，这种运动副称为转动副。如图 1-16 (b) 所示，

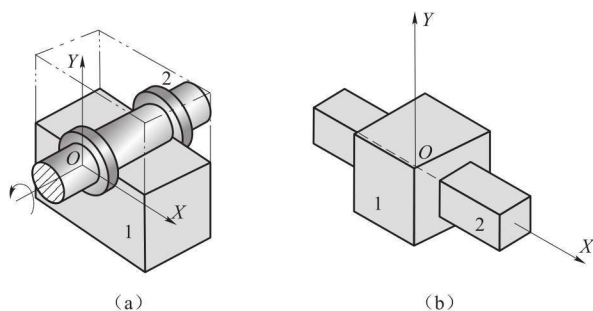


图 1-16 运动副的类型

将构件 1 与构件 2 连接后，两构件就只能沿 X 轴轴线方向做相对移动，这种运动副称为移动副。我们日常所见的门窗活叶、折叠椅等构成的运动副均为转动副，推拉门、导轨式抽屉、车床刀架与导轨构成的运动副均为移动副。

两构件通过点或线接触形成的运动副称为高副。如图 1-17 (a) 中齿轮 1 与齿轮 2、图 1-17 (b) 中凸轮与从动件、图 1-17 (c) 中火车轮与钢轨分别在接触点 A 处形成高副。

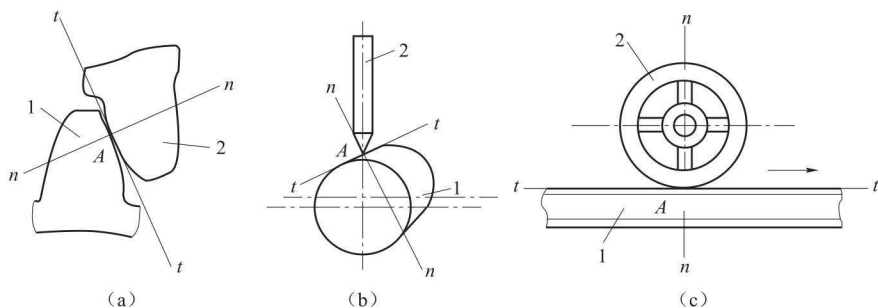


图 1-17 平面高副

(a) 齿轮 1 与齿轮 2；(b) 凸轮 1 与从动件 2；(c) 火车轮 2 与钢轨 1

此外，机械结构中常用的运动副还有如图 1-18 (a) 所示的球面副和图 1-18 (b) 所示的螺旋副，它们都属于空间运动副，即两构件的相对运动为空间运动。空间运动副已超出本书讨论范围，故在此不再赘述。

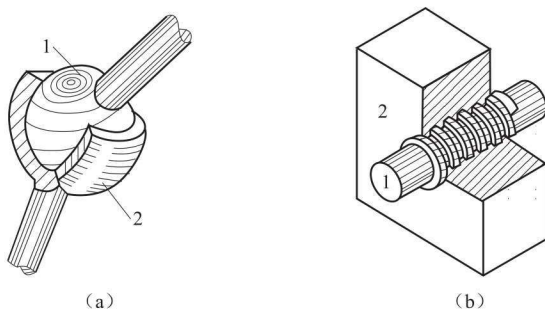


图 1-18 空间运动副

(a) 球面副；(b) 螺旋副

二、平面机构的运动简图

1. 平面机构构件的分类

构件是机构中具有独立运动的单元体，是组成机构的基本要素。根据构件在机构中运动

情况的不同，可将其分为三类。

(1) 机架

将机构中被固定的构件称为机架，任何一个机构中必定只有一个构件为机架。

(2) 原动件

将机构中运动规律已知的活动构件称为原动件，通常是驱动力所作用的构件（图中用箭头表示的构件）。

(3) 从动件

将机构中除原动件和机架以外的所有构件称为从动件，其运动规律取决于原动件的运动规律和机构的组成情况。

2. 平面机构运动简图及机构示意图

在研究机构运动特性时，为了使问题简化，通常只考虑与运动有关的运动副的数目、类型及相对位置，不考虑构件与运动副的实际结构和材料等与运动无关的因素。用简单线条与规定符号表示构件和运动副的类型，并按一定的比例确定运动副的相对位置及与运动有关的尺寸，这种表示机构组成和各构件间运动关系的简单图形，称为平面机构运动简图。机构运动简图保持了其实际机构的运动特征，其简明地表达了实际机构的运动情况。

机构示意图是指为了表示机构的结构组成及运动原理而不严格按比例绘制的机构运动简图，是用特定的构件和运动副符号表示机构的一种简化示意图，仅着重表示结构特征。

常用构件和运动副的简图符号在国家标准 GB/T 4460—2013 中已有规定，表 1-1 给出了最常用的构件和运动副的简图符号，可供参考。

表 1-1 构件和运动副的简图符号

名称	简图符号		名称	简图符号	
构件	轴、杆		平面低副	转动副	
	三副构件			移动副	
	构件的永久连接		平面高副	齿轮副	
机架	基本符号			凸轮副	
	机架是转动副的一部分				
	机架是移动副的一部分				

3. 平面机构运动简图的绘制

在绘制机构运动简图时, 首先必须分析该机构的实际结构和运动情况, 分清机构中的主动件(输入构件)及从动件; 然后从主动件(输入构件)开始, 顺着运动传递路线, 仔细分析各构件之间的相对运动情况, 从而确定组成该机构的构件数、运动副数及性质。在此基础上按一定的比例及特定的构件和运动副符号, 正确绘制出机构运动简图。绘制时应撇开与运动无关的构件的复杂外形和运动副的具体构造。同时应当注意, 绘制机构运动简图时, 原动件的位置选择不同, 所绘制的机构运动简图的图形也不同。当原动件的位置选择不恰当时, 构件会相互重叠或交叉, 使图形不易辨认。为了清楚表达各构件间的相互关系, 绘图时应选择合适的原动件位置。

绘制平面机构运动简图可按以下步骤进行。

1) 观察机构的运动情况, 分析机构的具体组成, 确定机架、原动件和从动件(类型和数目)。

2) 由原动件开始, 根据相连两构件间的相对运动性质和运动副元素情况, 确定运动副的类型和数目。

3) 根据机构实际尺寸和图纸大小确定适当的长度比例尺 μ_1 , 按照各运动副间的距离和相对位置, 以与机构中大多数构件的运动平面平行的平面为投影面, 用规定的线条和符号绘图。

$$\mu_1 = \frac{\text{构件的实际尺寸(m)}}{\text{构件的图样尺寸(mm)}} \quad (1-1)$$

4) 选择一个恰当的原动件位置, 用规定的符号和线条绘制成简图(从原动件开始画)。

[例 1-2] 试绘制图 1-5 所示的缝纫机脚踏板机构运动简图。

解: 1) 分析机构的组成和运动, 找出机架、主动件与从动件。

由图 1-5 所示可知, 该机构由 4 个构件组成。缝纫机体为机架, 脚踏板为主动件, 连杆与曲轴为从动件。

2) 从主动件开始, 按照运动传递的顺序, 分析各构件之间相对运动的性质和接触情况, 确定构件数目及运动副类型和数目。

脚踏板与连杆、连杆与曲轴、曲轴与机架、机架与脚踏板分别组成转动副, 共有 4 个转动副。

3) 合理选择视图平面。该机构为平面机构, 故选择与各构件运动平面相平行的平面为视图平面。

4) 选择合适的比例尺 μ_1 。

5) 按比例定出各运动副之间的相对位置, 用构件和运动副的

规定符号绘制机构运动简图, 如图 1-19 所示。标注构件符号、转动副代号, 用箭头表示原动件运动。

图 1-19 缝纫机脚踏板机构运动简图



任务实施

根据所学知识, 完成以下两个任务。

- 1) 绘制图 1-14 所示单缸内燃机主体结构机构运动简图。
- 2) 绘制图 1-15 所示颚式破碎机主体结构的机构运动简图。

评价反馈

序号	评价项目	自我评价	小组评价	教师评价
1	是否掌握运动副的概念			
2	是否了解平面机构运动简图的概念			
3	是否会绘制平面机构运动简图			

思考与练习

1. 什么是运动副？运动副的作用是什么？运动副分为哪几类？
2. 什么是平面机构运动简图？什么是机构示意图？

任务三 常用机构自由度计算

知识要求：

1. 了解构件自由度、约束等概念；
2. 掌握机构自由度的计算方法；
3. 掌握判定机构具有确定运动的条件。

技能要求：

1. 能根据机构运动简图计算简单机构的自由度；
2. 能判定机构是否具有确定运动。



任务描述

组成机构的各构件之间应具有确定的相对运动，不能产生相对运动或无规则乱动的一堆构件是不能称为机构的。为了使组合起来的构件能产生相对运动并具有运动确定性，就必须研究平面机构自由度的计算和机构具有确定运动的条件。那么机构自由度如何计算？机构具有确定运动的条件是什么？本任务将详细介绍相关内容。