

第 1 篇 机械原理导论



第 1 章 绪论

第 1 章

绪 论

内容提要：本章介绍机械原理课程研究的对象和机构、机器等概念，对课程的研究内容、课程的性质和地位及课程的学习目的和方法等也进行了阐述，以使对整个课程的学习有一个引领的作用。

1-1 机械原理研究的对象

“机械原理”(theory of machines and mechanisms)是“机构和机械原理”的简称。它是一门以机构和机器为研究对象的科学，研究内容为有关机械的基本理论问题。

机械(machinery)是机器(machine)和机构(mechanism)的总称。机器和机构对我们来说都并不陌生。在理论力学和机械制图课程中已了解了一些机构(如齿轮机构、连杆机构、螺旋机构等)及应用,各种机构都是用来传递与变换运动和动力的可动装置,工程实际中常用的机构还有带传动机构、链传动机构、凸轮机构等。而机器则是根据某种使用要求设计,将一种或多种机构组合在一起,实现预定机械运动的装置,它可以用来传递和变换能量、物料和信息。如电动机和发电机用来变换能量,机床用来改变物料的状态,运输机械用来传递物料等。

在日常生活和工作中,我们接触过许多机器,从家庭用的缝纫机、洗衣机、自行车,到工业部门使用的各种机床;从汽车、飞机到工业机器人、医疗机械等。机器的种类很多、用途各不相同,但它们却有着共同的特征。

图 1-1 所示的单缸内燃机由汽缸体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、齿轮 5 和 6、凸轮 7 和顶杆 8 等组成。燃气推动活塞作往复运动,经连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次,利用固定在曲轴上的齿轮 5 带动固定在凸轮轴上的齿轮 6 转动。这样,当燃气推动活塞运动时,进、排气阀有规律地启闭,把燃气的热能转变为曲轴连续转动的机械能。

图 1-2 所示的六自由度关节式焊接机器人,其机构由以下几个部分组成:构件 7 为机座,作为机器人支撑的基础;构件 1 为腰部,连接大臂 2 和机座 7,作回转运动;大臂 2 与小臂 3 构成手臂机构,与腰部一起,用于确定机器人的空间作业位置;构件 4、5、6 组成手腕机构,其可以实现腕的俯仰、摆动和旋转运动,用于确定末端执行器在空间的姿态;手部,也称末端执行器,它安装于腕部机构的前端,是直接进行工作任务的装置,常见的末端执行器有夹持式、吸盘式和电磁式等。

随着科学的发展,现在已进入信息时代,计算机也是一种机器。它可以根据人们事先编

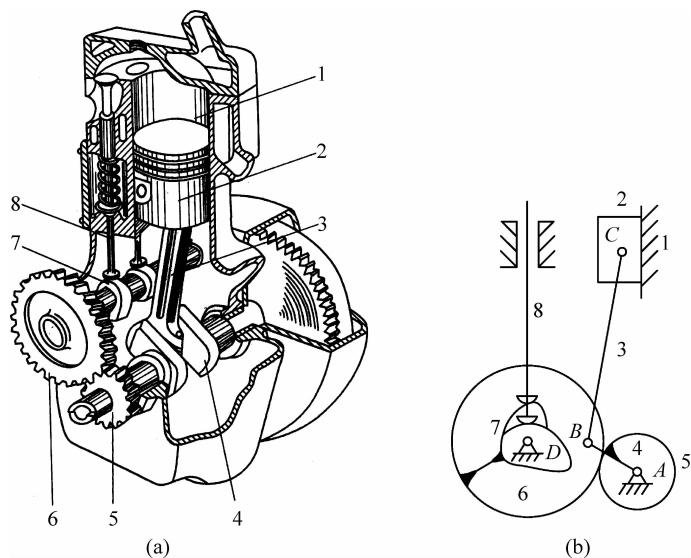


图 1-1 单缸内燃机

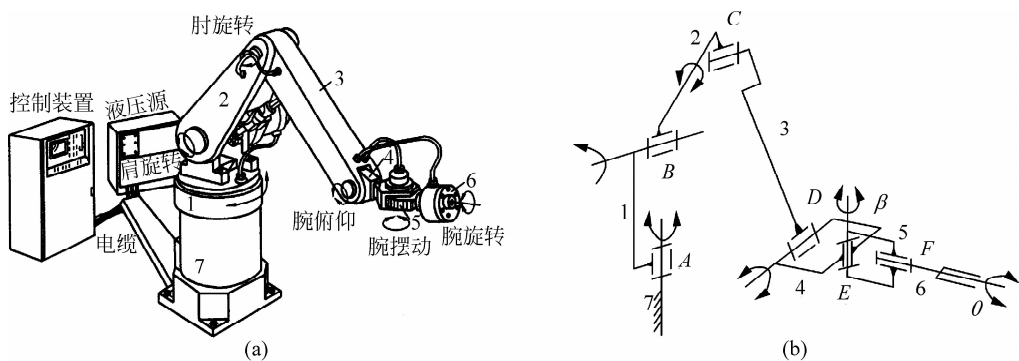


图 1-2 焊接机器人

好的程序进行数据处理、数据存储、数据交换及信息传输。例如,可将数据传给绘图仪,绘出精美的图画等。

从以上的例子可以看出,虽然这些机器的构造、用途和性能各异,但是从它们的组成和运动的确定性以及与功、能的关系来看,却有着三个共同的特征:

- (1) 它们是一种人为的实物组合;
- (2) 其组成各部分之间具有确定的相对运动;
- (3) 能完成有用的机械功、实现能量的转换或信息的处理与传递。

凡同时具备上述三个特征的设备便称为**机器**,而**机构**只具备机器的前两个特征。但从结构和运动的观点来看,两者之间并无区别。因此,为了简化叙述,常用“机械”一词作为“机构”和“机器”的总称。一个机器由多个或一个机构组成,如图 1-1 所示的单缸内燃机由齿轮机构、凸轮机构和连杆机构组成。

现代机械一般由四大部分组成。

- (1) 原动机(prime mover),是驱动机械运动的动力来源。最常见的原动机有电动机、

内燃机、液压马达和空气压缩机等。

(2) 执行机构(actuating mechanism),能完成机械预期的动作,实现机器的功能,如机器人的手爪、机床的刀架等。执行机构随着所要求的工艺动作和性质不同而异,其结构形式完全取决于机械本身的用途。

(3) 传动机构(transmission mechanism),是一部机械中,把原动机的运动和功率传递给工作机的中间环节,如齿轮机构、凸轮机构、连杆机构等。

(4) 控制系统(control system),用于协调机器各组成部分之间的工作,以及与外部其他机器或原动机之间的关系。

机构是由若干个构件组成的,构件可以是单一的零件,也可以是由几个零件装配成的刚性结构。所以说构件和零件是两个不同的概念,构件(link)是运动单元,而零件(element)是制造单元。在本课程中,我们将构件作为研究的基本单元。

凡本身固定不动的构件,或相对地球运动,但固结于给定坐标参考系并视为固定不动的构件统称为机架(frame),例如,汽车车厢、飞机机舱、机床床身等。研究机构在相对运动时,一般以机架为基准,即假定它是静止的。

1-2 机械原理课程的研究内容

机械原理所研究的问题归纳起来有两大类:第一类问题是根据已有机器的结构和主要参数来分析该机构或所组成机器的各种特性(结构、运动学和动力学),即机构的分析(analysis of mechanism),如机构的结构分析、运动分析、力分析和在已知力作用下机器的真实运动等;第二类问题是根据预期的各种特性来确定新的机构和机器型式、结构及主要参数,即机构的综合(synthesis of mechanism),如各种主要机构的运动设计、机构的平衡和机器速度波动的调节等。这里研究的问题只限于与机构和机器的运动和动力特性有关的机构型式、结构和各主要参数之间的关系,而不研究与机械零件有关的问题,如零件的形状、构造、强度、材料和工艺等。机械原理是一门以机构和机器为研究对象的学科。本课程的研究内容可归纳为如下几个方面:

(1) 机构的结构分析。研究机构的结构组成和组成原理、机构运动的可能性及确定性条件以及机构的结构分类等。

(2) 机构的运动分析。研究机构各点的轨迹、位移、速度、加速度的求法和机构的运动规律等。对机构进行运动分析是了解现有机构运动性能的必要手段,也是设计机构的必要步骤。

(3) 机器动力学。研究在机构运动过程中作用在各构件上的力的求法和确定机械效率的方法,并研究在已知力作用下机械的真实运动规律,以及作用力、运动构件的质量与这些构件运动之间的关系,即机械系统过渡过程和稳定运动状态下的动力学问题、机械的调速问题和不平衡惯性力的平衡问题等。

(4) 常用机构的分析与设计。对常用机构的工作特性进行分析,并研究按工作要求设计各种常用机构的方法,如齿轮机构、凸轮机构、连杆机构、间歇运动机构的设计等。

(5) 机械系统的方案设计。在机构的结构分析、运动分析和动力分析研究的基础上,介

绍机械系统总体方案的确定方法、机械执行系统的方案设计和机械传动系统的方案设计和方案的评价等。

1-3 本课程学习的目的和方法

1. 机械原理课程的性质和地位

机械原理属于工科机械类技术基础课。一方面,它以高等数学、物理和理论力学等基础课程为基础,但比这些基础课程更接近于工程实际;另一方面,它又不同于车辆设计、机械制造装备及工艺等专业课程,课程主要研究各种机械所具有的共性问题,而机械专业课程则是研究某一类机械所具有的特殊问题。因此,它比专业课具有更宽的适应面和更广的适应性,理论性也更强,它更为后续学习机械类专业课程打下必要的理论和知识基础。因此,它在教学计划中有着承上启下的作用,是工科机械类各专业一门十分重要的主干技术基础课,在机械设计系列课程体系中有十分重要的地位。

2. 学习本课程的目的

本课程的任务是使学生掌握机构学和机械动力学的基本理论、基础知识和基本技能,并具有拟定机械运动方案、分析和设计机构的初步能力,为机械类专业课程的学习和培养机械类高级工程技术人才和创新人才打下基础。课程学习要达到的目的具体有以下几点:

(1) 了解机械,为后续机械类专业课程的学习打下扎实的理论基础。机械种类繁多、功能和特点各异,在后续专业课程中研究各种通用和特殊机械装置的设计问题时,不仅要研究它所具有的特殊问题,而且需要研究所有机械所具有的共性问题,而机械原理所涉及的机械设计与分析的一般理论和方法是研究特定机械设计问题的基础。

(2) 学习方法,为机械产品的设计与创新打下了良好的基础。机械原理所讲授的机构分析与设计的基本理论与方法,不仅可用于本课程所学的各种机构的设计,而且对后续的课程设计、毕业设计及今后工作所遇到的机械技术问题的解决,都可以提供必要的基础知识和方法。如为实现某种运动规律或运动轨迹要求,来选择适合的机构类型,设计机构基本参数和机械系统方案;对某种特定的机械或机构,进行必要的运动和动力分析等方面,机械原理所讲授的基本思想和方法,都将起到十分重要的作用。另外,我国正从制造大国向制造强国转型,过去以经验设计和仿照设计为主的传统的机械产品设计方法越来越不适应我国制造业发展的需要。要使所设计的产品在国际市场上有竞争力,就需要不断地创新,而机械产品的设计创新很重要的方面就是原理方案设计创新,而要实现这一点,有关机械原理的知识和方法是必不可少的。

(3) 掌握理论,为从事机械工程领域的科学研究打下基础。机械原理课程中讲授的有关机构的结构组成、机构的分析与综合、机械运动学和动力学分析等理论与方法,是机械设计和研究中普遍适用的基本方法,也是进一步学习和掌握机械工程领域研究所需现代设计和分析理论与方法的基础。因此,学好机械原理课程,掌握机构与机械设计的一般理论与方法,可以为将来从事机械工程领域科学研究打下坚实的基础。

3. 本课程的学习方法

机械原理作为机械工程领域的一门技术基础课,研究的是常用机构和机械设计中的的一些共性问题,相对于纯基础课它又更接近于工程实际。在学习过程中,要根据课程特点,着重注意搞清基本概念,理解基本原理,掌握机构分析和设计的基本方法,了解各种机构在工程中的基本应用等。具体来说,要注意以下几个方面:

(1) 注意学习和掌握各种机构和机器设计所要解决的一般共性问题。如机构的组成及工作原理,机构的结构分析和运动学和动力学分析方法等。

(2) 研究机器中一些常用机构的性能、特点,学习常用机构的设计方法,掌握设计方法的原理,并能举一反三,用于同类型机构或不同机构的设计,了解机械系统方案设计的方法和步骤。

(3) 注意培养运用所学的机械原理课程的基本理论和方法去分析和解决机械工程实际问题的能力。工程实际问题影响因素较多,解决同一个工程问题的思路也可以多种多样,所得到的解决方案一般也不是唯一的。因此,需要培养全面考虑问题的习惯,培养对问题综合分析、对比、判断和决策的能力,培养创新思维和创新设计的能力,从而使我们在解决问题时,能得到一个理想和优化的解决方案。

(4) 机械原理是一门与工程实际联系十分紧密的课程。因此,在学习本课程时要特别注意理论联系实际,除了通过完成作业来掌握和巩固课程讲授的理论和方法外,与本课程相关的实验、课程设计、机构和机械创新设计大赛、大学生创新实验计划和科研训练及其他课外科技活动等,将为同学们提供理论联系实际和学以致用用的机会,它与理论课程学习同样重要,从某种意义上来说可能更重要。另外,要注意观察、勤于思考,留意现实生活中机械设备、日常用具中存在的各种设计新颖、构思精巧的机构,通过日积月累,当你从事设计工作时,就有可能从中获得创造的灵感。

第2篇 机构的组成与分析



第 2 章 机构的结构分析

第 3 章 平面机构的运动分析

第 2 章

机构的结构分析

内容提要：本章主要阐述机构的组成以及机构运动简图绘制的方法。对平面机构的自由度计算和机构具有确定性运动进行研究，简单介绍了运动链的拓扑构造和机构的组成原理，对开链机构也作了扼要的叙述。

本章重点：机构运动简图的绘制和平面机构自由度的计算。

本章难点：自由度计算中需要注意的问题。

2-1 机构结构分析的目的和内容

常用机构的分析与综合是机械设计课程的主要内容之一。由于机构的种类繁多，要对每种机构逐一进行研究，是既不可能也不合适的。因此，机构结构分析的目的是研究机构结构组成的共同规律，并按结构分类建立机构运动分析、动力分析和综合的一般方法。

机构结构分析的内容包括：

(1) 为了研究的方便，在进行机构分析和综合时，可将实际机构中与分析和综合无关的复杂外形和结构加以简化，用机构运动简图的形式来表示，因此应首先讨论机构运动简图绘制的方法和步骤。

(2) 研究机构的组成原理，即探讨机构中各构件应如何组成才能达到预定的运动目的。

(3) 用图解法或解析法进行机构分析和综合时，都可以按结构的分类方法，建立对机构运动分析、动力分析与综合的一般方法。

2-2 机构的组成

各种机械的形式、构造及用途虽然各不相同，但它们的主要部分却都是由一些机构所组成，所以机构应是我们重点研究的对象。

1. 构件

任何机械都是由若干零件组成的。但是从研究机械运动的观点来看，并不是所有零件都独立地影响着机械的运动，往往是由于结构和工艺的需要，把几个零件刚性地联结在一起，使它们作为一个整体而运动。这些刚性地联结在一起的各个零件之间，不能产生任何相对运动，也就是说它们构成了一个运动的单元体。机构中每一个运动单元体都称为一个构件(link)。

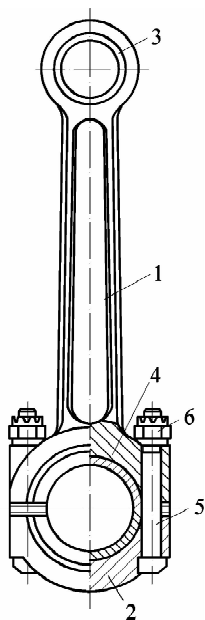


图 2-1 内燃机连杆

从运动的观点分析机械时,构件是组成机械的基本单元体。它可以是由若干个零件刚性地联结在一起组成,也可以是一个独立运动的零件。而零件则是从制造的观点来分析机械时,组成机械的每一个单独加工的单元体。例如图 2-1 所示的内燃机连杆,在内燃机中是作为一个整体而运动的,所以它是一个构件;但从制造的观点来看,它却是由分别加工的连杆体 1、连杆头 2、轴套 3、轴瓦 4、螺栓 5、螺母 6 等许多零件组成的。

2. 运动副

机构是由两个以上构件按一定形式联接起来的系统,各构件之间应有确定的相对运动。构件间的相对运动取决于各构件的联接形式。凡两构件直接接触,而又能容许一定的相对运动的联接,称为运动副(kinematic pair)。运动副的接触型式不同,所允许的相对运动也不一样。两构件间用销轴和孔构成的联接称为转动副(revolute pair),如图 2-2(a)所示;两构件间用滑块与导路构成的连接称为移动副(sliding pair),如图 2-2(b)所示;两构件间用齿轮齿廓构成的联接称为齿轮副(gear pair),如图 2-2(c)所示;两构件间用凸轮与从动件构成的联接称为凸轮副(cam pair),如图 2-2(d)所示。按照接触的特性,运动副又分为高副(higher pair)和低副(lower pair)。面接触的运动副称为低副,点、线接触的运动副称为高副。图 2-2 所示的转动副和移动副为低副,而齿轮副和凸轮副为高副。

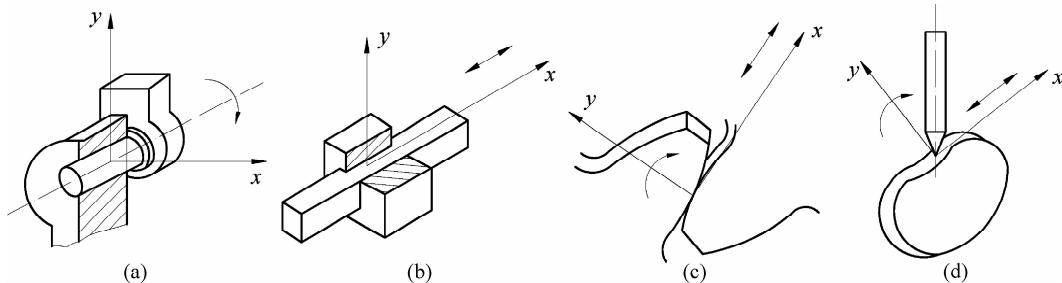


图 2-2 运动副

(a) 转动副; (b) 移动副; (c) 齿轮副; (d) 凸轮副

按照组成运动副两构件间的相对运动是平面运动还是空间运动,可以把运动副分为平面运动副和空间运动副。以下主要讨论有关平面运动副的内容。

如图 2-3 所示,一个构件在没有任何约束的条件下相对于另一构件(例如固定构件)作任意平面运动,可以看成 x 方向和 y 方向的移动与在该平面的转动这三个独立运动所组成,或者说作平面运动的构件在任何一瞬间的位置可以由构件中 A 点的坐标 (x, y) 和构件上标线 AA' 的转角 φ 三个参数所决定。这种独立运动的数目或

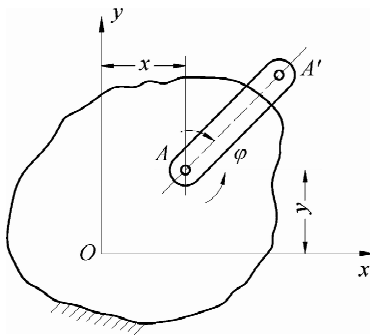


图 2-3 自由构件自由度

确定构件位置的独立参数的数目称为机构的自由度(degree of freedom)。因此,在平面内自由运动的构件有三个自由度。

当两构件组成运动副后,由于相对运动受到限制,故自由度减少,这种对独立运动的限制称为约束(constraint)。如图 2-2(a)所示,两构件组成转动副后,相对运动只能是转动,即失去了 x 、 y 两个方向的移动自由,故约束数为 2;如图 2-2(b)所示,两构件组成移动副后,相对运动只能是沿 x 方向的移动,即失去了 y 方向移动和转动的自由,故约束数为 2;如图 2-2(c)和(d)所示,两构件组成齿轮副和凸轮副后,瞬时相对运动都可以沿切线 x 方向移动和在 xy 平面内转动,即失去了法线 y 方向的移动自由,故约束数均为 1。

3. 运动链

两个以上构件以运动副联接而成的系统称为运动链(kinematic chain)。如果组成运动链的各个构件形成封闭系统,如图 2-4(a)所示,这种运动链称为闭链(closed kinematic chain);反之,如果运动链中有的构件不能形成封闭系统,如图 2-4(b)所示,便称为开链(open kinematic chain)。由图可见,对于闭链,动其一杆(或少数杆)即可牵动其余各杆,便于传递运动,故广泛应用于各种机械。开链主要应用于机械手、挖掘机等多自由度的机械之中。

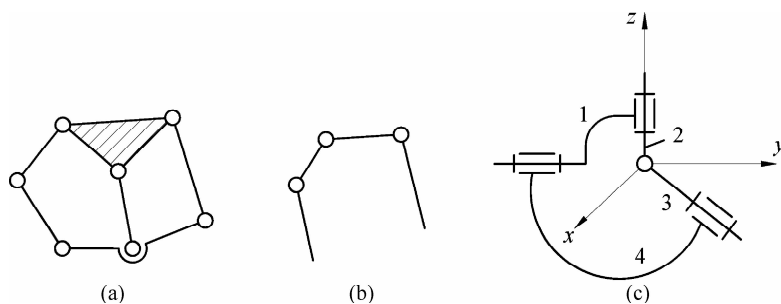


图 2-4 运动链

(a) 闭链; (b) 开链; (c) 空间运动链

此外,根据运动链中各构件间的相对运动为平面运动还是空间运动,又可将运动链分为平面运动链(planar kinematic chain)和空间运动链(spatial kinematic chain)两类,图 2-4(a)、(b)所示为平面运动链,图 2-4(c)所示为空间运动链。

4. 机构

如运动链中含有固定(或相对固定)不动的机架(fixed link)时,运动链被称为机构(mechanism),但此机构的运动尚未确定。当它的一个或几个构件具有独立运动,成为原动件(driving link)时,如其余从动件(driven link)随之作确定运动,此时机构的运动也就确定,便能有效地传递运动和力。

依据形成机构的运动链是平面的还是空间的,亦可把相应的机构分为平面机构和空间机构两类。由于常用的机构大多数为平面机构,所以本章主要讨论平面机构的结构问题。