

绪 论

0.1 机械原理课程的研究对象

机械原理是机器和机构理论的简称,顾名思义,它是一门以机器和机构为研究对象的学科。

1. 机器

提起机器,人们并不陌生。在日常生活和工作中,我们见到过或接触过许多机器:从家庭用的缝纫机、洗衣机,到工业部门使用的各种专门机床;从汽车、推土机,到工业机器人、机械手等。机器的种类繁多,构造、用途和性能也各不相同。对于一般的机器,我们在日常生活和工作中已经有了一定的感性认识。但一部机器究竟是怎样组成的呢?它有哪些特征呢?为了说明这些问题,先来看两个具体的实例。

图 0.1 所示为一台内燃机。它可以把燃气燃烧时产生的热能转化为机械能。其工作原理如下:燃气由进气管通过进气阀 3 被下行的活塞 2 吸入气缸 1,然后进气阀 3 关闭,活塞 2 上行压缩燃气,点火使燃气在气缸中燃烧、膨胀产生压力,推动活塞 2 下行,通过连杆 5 带动曲轴 6 转动,向外输出机械能。当活塞 2 再次上行时,排气阀 4 打开,废气通过排气管排出。图中,凸轮 7 和顶杆 8 用来启、闭进气阀和排气阀;齿轮 9,10 则用来保证进气阀、排气阀和活塞之间形成一定规律的动作。以上各部分协同配合动作,便能将燃气燃烧时的热能转变为曲轴转动的机械能。

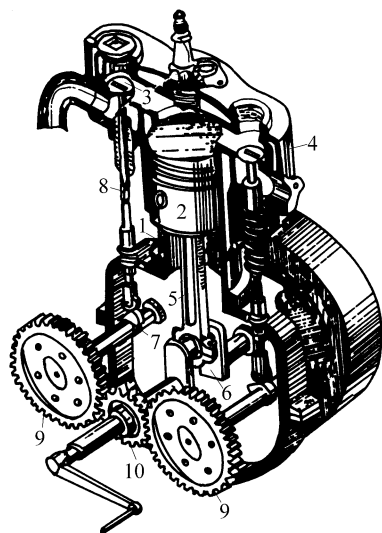


图 0.1 内燃机结构图

图 0.2 所示为一送料机械手。工作要求它具有 3 个运动,即手指的开合、手臂绕 y 轴的上下摆动、手臂绕 z 轴的回转。其工作原理如下:电动机通过减速装置(图中未画出)减速后,通过链轮 1 带动分配轴 2 转动,通过齿轮 17 和 16 把运动传给盘形凸轮 19,使摆杆 18 绕固定转轴 O_2 摆动,通过杆件 20 和 9(它们之间可以相对转动)以及杆件 10,11,12 和连杆 13 使手指 14 张开,以等待夹持工件;手指的复位夹紧是由弹簧来实现的。同时,盘形凸轮 5 随分配轴 2 一起转动,通过摆杆 21 和圆筒 7 使大臂 15 绕 O_3 轴上下摆动(O_3 轴支承在转盘 8 上)。此外,分配轴 2 上的圆柱凸轮 3 的转动,通过齿条 4 和齿轮 6 使转盘 8 往复回转。以上各部分的协同动作,便能使机械手依次完成手指张开,手指夹料,手臂上摆,手臂回转,手臂下摆,手指张开放料,手臂再上摆、反转、下摆、复位等动作,从而代替人完成有用的机械功。

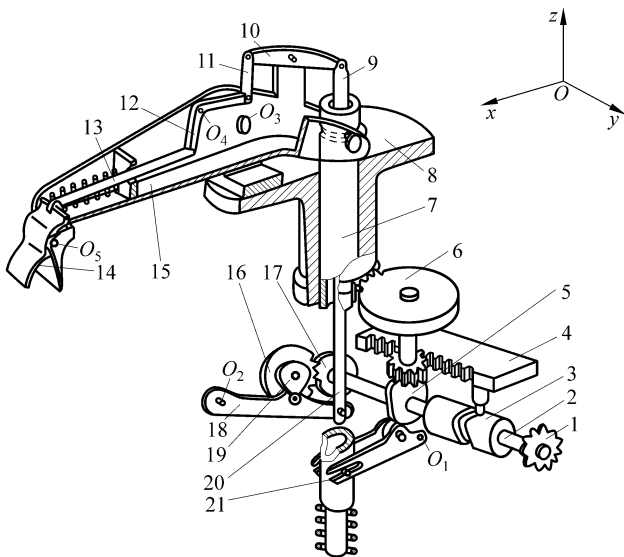


图 0.2 送料机械手结构示意图

从以上两个实例以及日常生活中所接触过的其他机器可以看出,虽然各种机器的构造、用途和性能各不相同,但是从它们的组成、运动确定性以及功、能关系来看,却都具有以下 3 个共同的特征:

- (1) 它们都是一种人为的实物(机件)的组合物。
- (2) 组成它们的各部分之间都具有确定的相对运动。
- (3) 能够用来转换能量,完成有用功或处理信息。

按照用途的不同,机器可以分为动力机器、加工机器、运输机器和信息处理机器等几大类。动力机器的用途是机械能与其他能量的转换,如内燃机、蒸汽机、电动机等;加工机

器的用途是改变被加工对象的形状、尺寸、性质或状态,如各种金属加工机床、包装机等;运输机器的用途是搬运人和物品,如汽车、飞机、起重机等;信息处理机器的作用是处理各种信息,如打印机、复印机、绘图机等。

2. 机构

如果说对机器的概念人们还比较熟悉的话,那么相对而言,对机构的概念则可能有些陌生。什么是机构?为了说明这个问题,我们来进一步分析上述两个实例。从中可以看出,在机器的各种运动中,有些机件是传递回转运动的;有些机件是把转动变为往复运动的;有些则是利用机件本身的轮廓曲线来实现预期规律的移动或摆动的。在工程实际中,人们常根据实现这些运动形式的机件的外形特点,把相应的一些机件的组合称为机构。例如,图 0.1 中的齿轮 9 和 10,图 0.2 中的齿轮 17 和 16,它们的机件形状的特点是具有轮齿,其运动特点是把高速转动变为低速转动或反之,人们称其为齿轮机构;图 0.1 中的凸轮 7 和顶杆 8,图 0.2 中的凸轮 19 和摆杆 18,它们的主要机件是具有特定轮廓曲线的凸轮,利用其轮廓曲线使从动件按指定规律做周期性的往复移动或摆动,因而被称为凸轮机构;图 0.1 中的活塞 2、连杆 5 和曲轴 6,图 0.2 中的杆件 10、11 和 12,其机件的基本形状是杆状或块状,其运动特点是能实现转动、摆动、移动等运动形式的相互转换,被称为连杆机构。

由以上几个例子可以看出,机构具有以下两个特征:

- (1) 机构都是人为的实物(机件)的组合体。
- (2) 组成机构的各运动实体之间具有确定的相对运动。

由此可见,机构具有机器的前两个特征。

通过以上分析可以看出,机器是由各种机构组成的,它可以完成能量转换、做有用机械功或处理信息;而机构则仅仅起着运动传递和运动形式转换的作用。也就是说,机构是实现预期的机械运动的实物组合体;而机器则是由各种机构所组成的能实现预期机械运动并完成有用机械功、转换机械能或处理信息的机构系统。

一部机器,可能是多种机构的组合体,例如上述的内燃机和送料机械手,就是由齿轮机构、凸轮机构和连杆机构等组合而成的;也可能只含有一个最简单的机构,例如人们所熟悉的电动机,就只含有一个由定子和转子所组成的双杆回转机构。

由于机构具有机器的前两个特征,所以从结构和运动的观点来看,两者之间并无区别。因此,人们常用“机械”一词来作为它们的总称。

需要指出的是,随着近代科学技术的发展,机器和机构的概念也有了相应的扩展。例如,在某些情况下,组成机构的机件已不能再简单地视为刚体;有些时候,气体和液体也参与了实现预期的机械运动;有些机器,还包含了使其内部各机构正常动作的控制系统和信息处理与传递系统等;在某些方面,机器不仅可以代替人的体力劳动,而且还可以代替人的脑力劳动(如智能机器人)。

机械一般由以下 4 部分组成:

(1) 原动部分 是机械的动力来源。常用的原动机有电动机、内燃机、液压缸或气动缸等,其中,以各种电动机的应用最为普遍。

(2) 执行部分 处于整个传动路线的终端,完成机械预期的动作。其结构形式取决于机械本身的用途。

(3) 传动部分 介于原动机和执行部分之间,把原动机的运动和动力传递给执行部分。

(4) 控制部分 其作用是控制机械的其他基本部分,使操作者能随时实现或终止各种预定的功能。一般来说,现代机械的控制部分既包括机械控制系统,又包括电子控制系统,其作用包括监测、调节和计算机控制等。

0.2 机械原理课程的研究内容

机械原理课程的研究内容,大体分为以下 3 个部分。

1. 机构的运动设计

分析和研究机构的组成原理以及各种常用机构的类型、运动特点、功能及运动设计的方法。

如上所述,机构具有机器的前两个特征。因此,从结构和运动的观点来看,两者并无区别。机器的种类虽然繁多,但组成这些机器的基本机构的种类却不是很多,即使是最复杂的机器,也无非是由齿轮、凸轮、连杆等一些常用基本机构组合而成的;机器虽然不同,组成它们的主要机构的工作原理却可以是相同的。正是由于这一原因,本课程将把机构的运动设计作为重要内容之一加以研究,它将为机械系统的方案设计打下必要的运动学基础。

2. 机械的动力设计

分析和研究机械在外力作用下的真实运动规律和速度波动问题,以及如何合理地设计调速装置来降低速度波动的不良影响;分析和研究机械运转时惯性力和惯性力矩的平衡问题,以及如何通过合理设计和试验来消除或减小不平衡惯性力引起的有害振动;分析和研究影响机械效率的主要因素和机械效率的计算方法,以及在设计机械时如何合理地选择机构的尺寸参数以提高机械效率。通过对这些内容的研究,为机械系统的方案设计打下必要的动力学基础。

3. 机械系统的方案设计

在研究机构运动设计和机械动力设计的基础上,介绍机械总体方案的拟定、机械执行系统的方案设计、机械传动系统的方案设计以及原动机的选择。这部分内容的重点是机

机械执行系统的方案设计,主要包括:根据机械预期实现的功能,确定机械的工作原理;根据工艺动作的分解,确定机械的运动方案;合理地选择机构的型式并将其恰当地组合起来,实现机械的预期动作;根据工艺动作的要求,使各机构协调配合工作等。

需要指出的是,机械原理作为研究现代机械科学技术发展共性问题的一门基础学科,一直受到国内外学者和工程技术人员的高度重视。近年来,随着科学技术的飞速发展和各学科领域的交叉及相互渗透,处于机械工业发展前沿的机械原理学科,其新的研究课题和研究方法也日益增多,诸如机器人机构学、仿生机构学、机械电子学、微型机构学等的研究,优化设计、计算机辅助设计、专家系统以及各种近代数学方法的运用和动力学研究的不断深入,使机械原理学科的研究呈现出蓬勃发展的局面,也为机械原理学科的应用开拓了更广阔的前景。这就要求读者在学习本课程基本内容的同时,密切关注本学科的最新发展,以不断开拓自己的知识视野。

0.3 机械原理课程的地位及学习本课程的目的

1. 机械原理课程的地位

在工程技术类高等院校中,机械原理课属于技术基础课。一方面,它比物理、工程力学等基础课程更加接近工程实际;另一方面,它又不同于汽车设计、机械制造设备等专业课,机械原理研究的是各种机械所具有的共性问题,而各专业课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研究面和更广的适应性。它在教学计划中起着承上启下的作用,是高等院校机械类各专业的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占有非常重要的位置。

2. 学习本课程的目的

(1) 为学习机械类有关专业课打好理论基础

机械的种类十分繁多,为了研究工程实际中的各种特殊机械,在高等院校中相应地设置了各种专门的课程。但是,当研究某一具体的机械时,不仅需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。机械原理课程正是为此目的而开设的技术基础课。

(2) 为机械产品的创新设计打下良好基础

机械制造业是国民经济的支柱产业。随着科学技术的发展和市场经济体制的建立,在机械制造业中,多数产品的商业寿命正在逐渐缩短,品种需求增多,这就使产品的生产要从传统的单一品种大批量生产逐渐向多品种小批量柔性生产过渡,以经验设计和仿照设计为主的传统设计方法已越来越不适应生产的发展。要使所设计的产品在国际市场上具有竞争能力,就需要制造出大量种类繁多、性能优良的新机械。而要完成这一任务,有

关机械原理的知识是必不可少的。一般工业产品的设计需要经历以下4个阶段:初期规划设计阶段,总体方案设计阶段,结构技术设计阶段,生产施工设计阶段。而产品是否具有创新性,在很大程度上取决于总体方案设计,而这正是机械原理课程所研究的主要内容。

(3) 为现有机器的合理使用和革新改造打基础

对于使用机械的工作人员来讲,要想充分地发挥机械设备的潜力,关键在于了解机械的性能。通过学习机械原理这门课,掌握机构和机器的分析方法,才能进而了解机械的性能和更合理地使用机械;掌握机构和机器的设计方法,才能对现有机器的革新改造提出方案。改革开放以来,我们引进了大量国外的先进技术和设备,要使这些技术和设备更好地为国民经济建设服务,关键在于消化和吸收。而在这方面,机械原理的知识又是必不可少的。

0.4 学习机械原理课程的方法

1. 在学习知识的同时,注重能力的培养

学习知识和培养能力,两者是相辅相成的,但后者比前者更为重要。鉴于本课程的教学内容较多而教学时数相对较少,因此教师在讲授本课程时,要着重讲重点、讲难点、讲思路、讲方法,同时介绍课程发展前沿;同学们在学习本课程时,也应把重点放在掌握研究问题的基本思路和方法上,即放在以知识为载体,培养自己高于知识和技能的思维方式与方法以及自主获取知识的能力上,着重于能力的培养。这样,就可以利用自己的能力去获取新的知识,这一点在知识更新速度加快的当今尤为重要。

2. 在重视逻辑思维的同时,加强形象思维能力的培养

从基础课到技术基础课,学习内容变化了,学习方法也应有所转变,其中重要的一点是要在发展逻辑思维的同时,重视形象思维能力的培养。这是因为技术基础课较之基础课更加接近工程实际,要理解和掌握本课程的一些内容,要解决工程实际问题,要进行创造性设计,单靠逻辑思维是远远不够的,还必须发展形象思维能力。

3. 注意运用理论力学的有关知识

机械原理作为一门技术基础课,它的先修课是高等数学、物理、理论力学和工程制图等,其中,理论力学与本课程的学习关系最为密切。机械原理是将理论力学的有关原理应用于实际机械,它具有自己的特点。在学习本课程的过程中,要注意把理论力学中的有关知识运用到本课程的学习中。

4. 注意将所学知识用于实际,做到举一反三

机械原理是一门与工程实际密切相关的课程,因此学习本课程要更加注意理论联系

实际。与本课程密切相关的实验、课程设计、机械设计大奖赛以及课外科技活动,将为学生提供理论联系实际和学以致用机会。此外,现实生活中有各种各样构思巧妙和设计新颖的机构,在学习本课程的过程中,如果能注意观察、分析和比较,并把所学知识运用于实际,就能达到举一反三的目的。这样,当你自己从事设计工作时,就有可能从日常的积累中获得创造灵感。



机构的组成和结构

【内容提要】 本章首先介绍机构的组成,然后重点阐述机构运动简图的绘制方法和运动链成为机构的条件,最后从结构的观点探讨机构的组成原理和结构分析方法。

机构是具有确定运动的实物组合体。做无规则运动或不能产生运动的实物组合均不能成为机构。了解机构的组成和结构特点,掌握机构组成的一般规律,无论对于分析已有机构还是着手创新设计新机械,都具有十分重要的指导意义。

1.1 机构的组成

1.1.1 构件

从制造、加工的角度看,任何机械都是由若干单独加工制造的单元体——零件组装而成。例如图 1.1 所示的内燃机连杆,就是由单独加工的连杆体 1、连杆头 2、轴瓦 3、螺杆 4、螺母 5、轴套 6 等零件装配而成的。

但是从机械实现预期运动和功能的角度来看,并不是每个零件都独立起作用。每一个独立影响机械功能并能独立运动的单元体称为构件。构件可以是一个独立运动的零件,但有时为了结构和工艺上的需要,常将几个零件刚性地联接在一起而组成构件。图 1.1 所示的连杆就是由许多不产生相对运动的零件刚性联接而成的一个构件,它们是一个不可分割的运动单元。

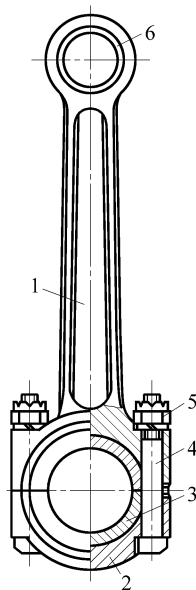


图 1.1 内燃机连杆结构

1.1.2 运动副

机构都是由构件组合而成的,其中每个构件都以一定的方式至少与另一个构件相联接,这种联接既使两个构件直接接触,又使两构件能产生一定的相对运动。每两个构件间的这种直接接触所形成的可动联接称为运动副。如图 1.2 所示的轴与轴承间的联接,图 1.3 所示的凸轮与滚子间的接触都构成了运动副。

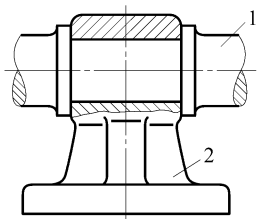


图 1.2 轴与轴承形成的运动副

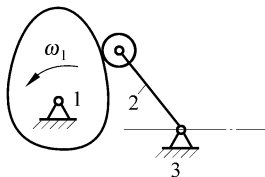


图 1.3 凸轮与滚子形成的运动副

构成运动副的两个构件间的接触不外乎点、线、面 3 种形式,两个构件上参与接触而构成运动副的点、线、面部分称为运动副元素。

构件所具有的独立运动的数目(或是确定构件位置所需要的独立参变量的数目)称为构件的自由度。一个构件在未与其他构件联接前,在空间可产生 6 个独立运动,也就是说具有 6 个自由度。

两个构件直接接触构成运动副后,构件的某些独立运动将受到限制,自由度随之减少,构件之间只能产生某些相对运动。运动副对构件的独立运动所加的限制称为约束。运动副每引入 1 个约束,构件便失去 1 个自由度。两个构件间形成的运动副引入了多少个约束,限制了构件的哪些独立运动,则取决于运动副的类型。

运动副有多种分类方法。

(1) 按运动副的接触形式分类。面与面相接触的运动副(如图 1.2 中轴与轴承所形成的运动副)在承受载荷方面与点、线相接触的运动副(如图 1.3 中凸轮与滚子所形成的运动副)相比,其接触部分的压强较低,故面接触的运动副称为低副,而点、线接触的运动副称为高副,高副比低副易磨损。

(2) 按相对运动的形式分类。构成运动副的两构件之间的相对运动若为平面运动则称为平面运动副,若为空间运动则称为空间运动副。两构件之间只作相对转动的运动副称为转动副或回转副,两构件之间只作相对移动的运动副则称为移动副等。

(3) 按运动副引入的约束数分类。引入 1 个约束的运动副称为 1 级副、引入 2 个约束的运动副称为 2 级副,依次类推,还有 3 级副、4 级副、5 级副。

(4) 按接触部分的几何形状分类。根据组成运动副的两构件在接触部分的几何形

状,可分为圆柱副、平面与平面副、球面副、螺旋副、球面与平面副、球面与圆柱副、圆柱与平面副等。

综合以上各种分类方法,在表 1.1 中列出了各种运动副所属类型、代号及表示符号。

表 1.1 运动副的类型及表示符号(摘自 GB 4460—1984)

名称	代号	运动副类型	图	基本符号	可用符号	自由度	引入约束	
							转动	移动
球与平面副		空间 1 级高副				5	0	1
圆柱与平面副		空间 2 级高副				4	1	1
球与圆柱副		空间 2 级高副				4	0	2
球面副	S	空间 3 级低副				3	0	3
平面与平面副	E	平面 3 级低副				3	2	1
球销副	S'	空间 4 级低副				2	1	3