

第1章 绪论

👉【本章要点】

1. 学习机械原理的研究对象和内容，使大家对整个课程有初步而全面的了解。要求准确掌握课程中最核心的基本概念；了解课程的章节构成及其相互关系。
2. 了解机械原理在机械专业课程体系中的地位、作用和重要性；了解机械原理课程的特点和学习课程应采用的正确方法。
3. 了解机械原理的发展现状和主要前沿技术问题。

1.1 机械原理课程的研究对象

机械原理是专门研究机器运动及受力的学科。现代机械装备往往是机械、液压、电气、电子、光学、信息的综合体，涉及的学科范围也十分广泛。机械原理把机械设备中最基本的运动和受力问题作为其研究对象，因而是机械工程中最基础的学科。该课程不会论及机件的破坏失效，也不会讨论机器精度及制造，更不会讨论机器的市场开发和成本核算。

1.1.1 有关机器的若干概念

为了更深刻理解机械原理的研究对象，需要掌握以下几个重要概念。

1. 机器

我们对机器都有一些直观的认识，知道汽车、拖拉机、各种机床、缝纫机、洗衣机等都是机器，而且知道机器的种类繁多，构造、用途和性能也各不相同，然而要给机器一个较准确的定义还真不容易。国家标准对机器的定义为：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。

这样定义的机器必须具有两方面的特征：其一是必须有物体，且物体之间存在相对的机械运动；其二是执行人们所要求的运动转换等功能。房屋、桥梁、隧道不能成为机器，虽然它执行了人们所需要的功能，但它没有相对的机械运动；太阳系也不能算是机器，虽然它有相对机械运动，但它执行的不是人们所要求的功能，而是自然运动规律。

机器根据用途不同一般可以分为动力机器、工作机器和信息机器等。动力机器是机械能与其他形式能量相互转化的机器，如内燃机、涡轮机、电动机、发电机等都属于动力机器；工作机器是完成各种有用工作的机器，如缝纫机、起重机、洗衣机等都属于工作机器；信息机器是完成信息的传递和变换，如照相机、复印机等属于信息机器。

2. 零 件

零件是机器的最小装配和制造单元。我们拆卸一台机器，要求不准用切、锯、割等破坏性方法，把机器彻底分解，这时摆在我们周围的每件东西就都是“零件”了。制造机器时先把每一个“零件”制造出来，然后按一定的过程装配起来就成了机器。

3. 构 件

构件是机器的最小运动单元。几个零件连接装配在一起，机器运动时这些零件没有相对运动，可以看做是一个刚性的整体，这就是“构件”。当然有些“构件”也可能是一个单独的零件，但大部分“构件”是由若干零件组装而成的。机械原理主要研究机器运动与受力，显然“构件”也是机械原理研究的最小单元。

在一个机器中，人们一般把固定不动的构件称为机架；把驱动力输入的构件称为主动构

件；把运动或力输出的构件称为从动构件；其他构件称为传动构件。

4. 运动副

运动副是构件之间的可动连接。有些构件之间没有直接联系，也有些构件之间保持着接触联系，且允许有一定的运动，这种允许相对运动的接触连接就是“运动副”。“副”有一对的含义，两个构件保持接触联系，接触点、接触线或是接触面总是成对出现的，同时接触处又有相对运动，所以称为“运动副”。

运动副只对两个有直接运动联系的构件才有定义。要是两个构件之间的连接是不可动的，此两个构件其实就是同一个构件了，如此看来定义中的“可动”两字也是多余的。机器所需要的运动依赖运动副的约束限制来实现，机器的动力只能通过运动副来传递。

5. 基本机构

基本机构是机器的最小传动单元。由运动副连接起来的若干构件，组成一个最基本的运动传递或转换单元，就是“基本机构”。这里的“最基本”或“最小”的意思是强调其传动的功能不可再分。人们把完成的传动功能不是“最基本”或“最小”的构件-运动副组合体称为“组合机构”。基本机构和组合机构又统称为机构。

机器的种类繁多、功能各异，但都能分解为若干基本功能，并通过不同的“基本机构”组合来实现。因此，机械原理重点是学习种类不多的各种基本机构的设计方法，也可以说基本机构是教材组织和我们学习的基本单元。

由于机械原理是研究机器运动的学科，以上5个概念中，构件、运动副、基本机构三个概念与机器运动密不可分，是机械原理最核心的概念，课程中的全部内容都围绕这三个概念

展开。机器的概念并不重要，对机器的直观认识就足以帮助我们理解课程内容。因为构件是机器的最小运动单元，所以在机械原理中将不会再提到零件。从机械原理的观点来看：

机器 = 构件 + 运动副；机构 = 构件 + 运动副

1.1.2 机器举例

为了更准确地理解以上概念，我们以内燃机为例，对以上概念作进一步说明。图 1.1 所示为单缸四冲程内燃机结构示意图，首先它有着复杂的相对机械运动，满足机器的第一特征；其次它将燃油的化学能转化为机械能，是汽车、飞机、轮船等机器最常用的动力装置，满足机器的第二特征。它为工业社会提供基本的动力来源，几乎成为现代工业文明的基础和象征。

单缸四冲程内燃机的工作循环如图 1.2 所示，工作过程分为吸气、压缩、做功、排气四个工作冲程，周期循环实现燃油的化学能向转动机械能的转化。

(1) 吸气冲程：在进气凸轮和排气凸轮的控制下，排气阀门关闭，进气阀门打开，气缸中的活塞向下移动，将可燃气体吸入气缸。

(2) 压缩冲程：进、排气阀门均关闭，活塞向上移动，可燃气体受到压缩并升温。

(3) 做功冲程：火花塞利用高压放电，使燃气在气缸中燃烧、膨胀，产生压力推动活塞向下移动，同时，通过连杆推动曲轴转动，向外输出动力。

(4) 排气冲程：当活塞再次向上移时，进气阀门关闭，排气阀门在排气凸轮的控制下打开，废气排出。

曲轴每转两圈，完成一次动力的循环。一个循环中，进气阀门和排气阀门各进行一次开、

闭运动，所以曲轴上的小齿轮转两圈，两个大齿轮转一圈。

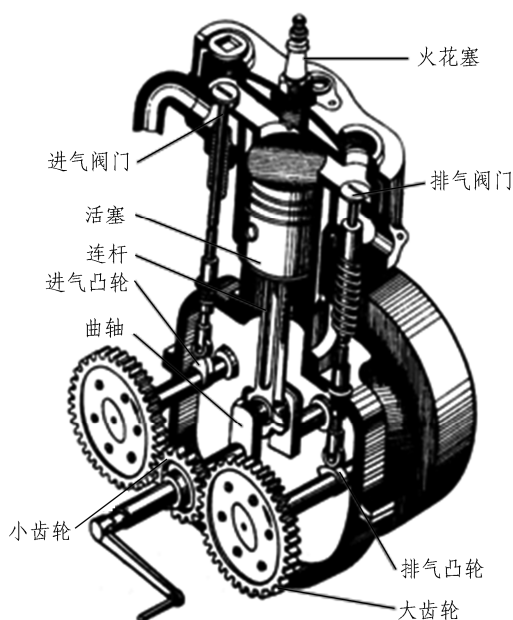


图 1.1 单缸内燃机结构示意图

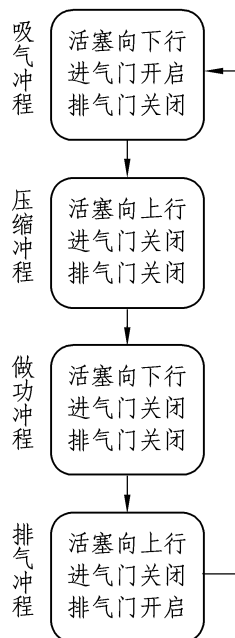


图 1.2 内燃机的工作循环



内燃机原理 1



内燃机原理 2

该内燃机的构件有：曲轴、小齿轮等零件组成的构件 I；连杆等零件组成的构件 II；活塞等零件组成的构件 III；进气凸轮轴、大齿轮等组成的构件 IV；排气凸轮轴、大齿轮组成的构件 IV'；进气阀门等零件组成的构件 V；排气阀门组成的构件 V'；众多辅助零件和外壳一起组成的机架 VI。

各构件在运动过程中保持整体，可以看做是刚体。这些构件中机架的组成零件最多，内燃机的各辅助系统都安装在机架上。图 1.3 所示连杆构件 II 最为典型，由于曲轴的结构限制，连杆下端和曲轴之间的转动运动副必须从圆孔的中间剖分，成为连杆头和连杆体两部分才能装配。相应地也必须有连接螺栓等零件。此外，两个运动副中需要有减少摩擦的轴套，并且下端轴套也必须剖分成两半的轴瓦。在研究机器运动的机械原理课程中，只分

析到构件为止，不必考虑构件的组成零件。

该内燃机中的运动副有：构件I、构件IV、构件IV'和机架之间的圆柱面接触约束，使其只能相对于机架转动；构件III、构件V、构件V'和机架之间的面接触约束，使其只能相对于机架上下移动；构件III、构件I和构件II之间也是圆柱面接触约束，只能进行相对转动；构件IV与构件V'之间、构件IV'与构件V之间、两对齿轮啮合都形成线接触，约束要求不能脱离接触，在接触线上可以相对滑动，还可以相对滚动。在该内燃机中不存在其他的运动副。

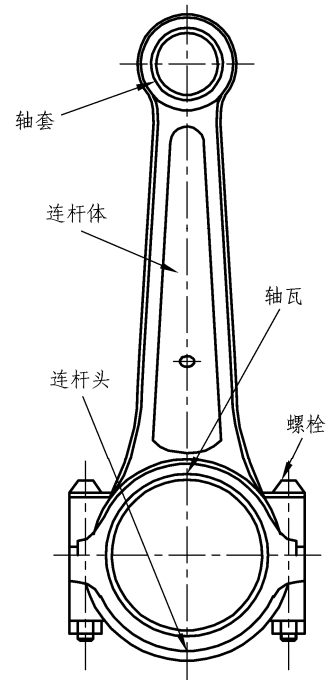


图 1.3 构件连杆的组成

该内燃机中的机构有三种：构件I、构件II、构件III、机架VI组成一曲柄滑块机构，完成活塞的上下运动和曲轴转动之间的相互转化；两对齿轮啮合和机架组成两个完全相同的齿轮机构，完成曲轴和两凸轮轴之间转动运动的传递；两个凸轮轴分别和进气阀门、排气阀门，再加上机架组成了两个相同的凸轮机构。这三种机构十分常用，其他许多机器中都常常用到。

1.2 机械原理课程的主要内容

机械原理研究机器的运动和受力，一般包含分析和综合两方面研究内容。

1.2.1 机构分析问题

所谓分析问题是指机构已经确定的前提下，求机构各构件的运动和受力及其随时间变化

的运动和受力。人们也常常把分析问题称作正方向问题。各种教科书中一般都将不同的机构放在一起分别从以下三方面进行内容组织。

(1) 机构结构分析。结构分析中机构的构件数目已知，构件之间的运动副连接关系已知，分析结果要回答两个问题：其一是机构能否运动；其二是如果能够运动，那有没有确定性的运动。这两个问题是机构分析中最基本的问题，如果构件用运动副连接后不能运动，那么设计工作再也不能继续下去；但固然机器能够运动，如果没有确定的运动，机器的运动是不可预期和不可控制的，同样也必须修改后才能继续其后续工作。在结构分析中一般不要求知道机构的构件尺寸，因为在正常连接条件下构件的尺寸与结构分析的两个结果无关。

(2) 机构运动分析。机构运动分析中，机构构件数目已知，运动副连接关系已知，主动构件运动参数也已知，要求出除主动件之外的其他构件的运动参数。由于构件的运动可以分解为移动和转动，因而这里构件的运动参数包含构件的移动和转动的位置、速度和加速度等，还包括在任一构件上指定任意一点的位置、位移和加速度等。所分析的时间也应是任意时刻都包括在内。

(3) 机构力分析。机构受力分析有两种提法：第一种提法是机构构件数目已知，运动副连接关系已知，主动构件运动参数已知，从动件工作阻力已知，要求出主动件的驱动力和各个运动副之间的约束力；第二种提法是机构构件数目已知，运动副连接关系已知，从动件工作阻力已知，主动件的驱动力已知，要求出各构件的运动参数和各运动副的约束力。第二种提法也常常被称为求解机器的真实运动规律。此外，机构的运动平衡问题也归入机构的受力分析中，平衡问题要求机器在高速运动中各构件的惯性力尽可能相互抵消，以减少机

器运动过程的振动。

1.2.2 机构综合问题

与分析问题相反，综合问题的已知条件是客户对机器提出运动要求，要求设计者最终设计出满足客户要求的机器。综合问题也称为设计问题，或称作反方向问题。机器的种类虽然极其繁多，客户的要求也是千差万别，但构成各种机器的机构类型却是有限的。熟悉了不同机构的设计方法，就可以通过合理的机构组合得到满足要求的机器。一般教科书都是按照不同的机构类型进行内容的组织。

机构综合首先要确定机构的类型，称为机构的类型综合；然后确定机构的尺寸，称为机构的尺寸综合。机构的综合是从无到有的过程，极富有创造性，当然难度相对也较大。

本书第 2、3、9、10 章属于机构分析部分的内容，讨论机构的结构分析、运动分析和受力分析问题；第 4~8 章分别是连杆机构设计、凸轮机构设计、齿轮机构设计、轮系设计、间歇运动机构等，又统称为常用机构的设计；第 11 章可以认为是机器的整体运动设计，属于机构综合问题。鉴于目前计算机辅助机构分析仿真技术已经相当成熟，本书最后一章对应用比较普遍的 ADAMS 机器仿真软件的基本应用方法作简要介绍。

总体而言，机构的分析方法和技术是相对成熟的。如果在机构的类型和尺寸已定的条件下，求解机构的运动和受力问题是不存在任何困难的；如果机构的类型已定，求解机构尺寸变化时，机构整体运动性能随机构尺寸演变的问题尚未完全得到解决。在机构综合问题中，由于所提出的综合问题本身千差万别，要想得到比较理想的分类都十分困难，更谈不上寻求比较统一的处理方法了。最优化技术可能成为解决综合问题的统一求解方法，但根据对机器

的实际要求提出合理的最优化目标，仍然不是容易的事情。

1.3 机械原理课程的地位和学习方法

1.3.1 机械原理课程的地位

现代机械工程学科涉及的范围相当广泛，如设计、材料、制造、测量、控制、信息等，各方面的内容往往相互交织。显然，机械原理应当属于机械设计方面的内容。一般来说，设计方面最少应当包括机械原理和机械零件两门课程，机械原理解决机器的整体运动设计，机械零件课程保证每一个机械零件正常工作而不产生失效。机械原理通过运动综合和受力分析获得构件的基本尺寸和受力，为机械零件的失效分析提供基本数据，再综合考虑材料、工作环境、制造要求等因素完成机械零件的设计工作。这两门课程一起解决机械设备通用零部件的设计问题，一般来说机械设计中的通用零部件设计都占有较大的比例。由此可以看出机械原理课程在机械设计中的基础地位和作用。

完成机器设计以后，要通过合理的工艺方案，在测量等技术的配合下，经济地完成机器制造之后才能投入使用。在机器的制造、测量、控制等环节也会涉及相应的制造、测量、控制等设备，这些设备同样也要通过设计、制造等环节才能完成，也需要进行运动综合与分析。此外，机构的创新是机械工程中最基础的创新，其影响必然也极其深远。

机械原理课程是机械专业承上启下的第一门专业基础课程，以高等数学、普通物理、工程图学和理论力学等课程为基础，又是机械专业许多后续专业课程的理论基础。因此，机械原理是一门重要的技术基础课程，是高等院校机械类各专业的必修课程。此外，本课程的许

多内容也都直接应用于生产实际中。

1.3.2 本课程的学习方法

机械原理课程是机械设计方面的专业基础课程，是基础课程向专业课程过渡的环节，兼有基础课程和专业课程的特点。基础课程重在道理的理解，涉及的练习题也大都有着确定的答案；而专业课程重在实际应用，强调以清晰规范的步骤获得问题解答，问题的前提条件和答案涉及的参数众多，往往有若干解答方案可供择优选择。机械原理的分析类问题都具有基础课程的特点，而综合类问题都具有专业课程的性质，学习时应当区别对待。

1. 机构分析的学习方法

机械原理的分析类问题中的机构运动分析和力分析也都归结为刚体的受力和运动分析，基本原理没有超出理论力学的范围，但问题的复杂程度大大增加了，因而引入了一些新的处理方法。显然，理论力学课程学好的同学在学习分析类问题的时候将会有明显的优势。同时学好机械原理的分析类问题也会大大提高我们的运动、力学分析水平。这对于将来有志于考研究生继续深造的同学就更重要了。其方法如下：

(1) 将分析问题整理归类(其实类型也真的不多)，每一类问题总结出一个统一的分析步骤，弄清楚每一步骤的分析内容，求解不同的问题尽可能按照整理好的步骤进行；

(2) 分析各类问题之间的联系，比较相同点和不同点，做到这一点您就会更牢固地掌握学习的内容了。

当然也必须弄清分析的基本原理，不过这些基本原理主要是理论力学课程的学习任务。

理论力学没有学好的同学，借学习机械原理的机会也可弥补一下。