

高等学校机械基础课程系列教材

机械原理

主编 丁洪生 荣 辉

随着科学技术的飞速发展和教学改革的不深入，在加强基础、拓宽专业中，培养适应科学技术发展的高级工程技术人才是高等学校建设的重要任务。因此，既具有基础课程性质，又具有工程技术性质的机械原理教材的建设在机械类专业建设中就显得非常重要。

本教材是北京理工大学出版社组织编写的“高等学校机械基础课程系列教材”之一，编者是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会编制的《机械原理课程教学基本要求》和《机械原理课程教学改革建议》的精神，基于中国工程教育专业认证标准，在北京理工大学新本科学教学培养方案和教学计划及多年的教学研究和教学实践经验的基础上而编写的。教材以培养学生创新意识和机械系统方案设计能力为目标，以设计为主线，强调传授知识与培养能力并重，加强逻辑思维能力与形象思维能力一体化培养，既考虑传统经典内容，又考虑到近年来的教学改革成果及学科发展的新动向，适当地扩充了内容。每章除具有基本教学内容外，还包含内容提要、知识拓展和思考题与习题。

参加本书编写的有：丁洪生（第一章、第十一章、第十三章）、孙娜（第二章、第六章）、荣辉（第三章、第四章、第七章）、李轶（第八章、第九章）、付铁（第五章、第十章、第十二章），附录由付铁编写。全书由丁洪生、荣辉负责统稿并担任主编。本书在编写过程中参考了一些同类教材和相关著作，在此向作者表示诚挚的谢意。

北京理工大学出版社为本书的出版给予了极大的支持，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中缺点、误漏、欠妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

目 录

CONTENTS

第一章 绪论	001
第一节 机械原理研究的对象	001
第二节 机械原理研究的内容	004
第三节 机械原理的地位、任务和作用	005
第四节 机械原理的学习方法	005
思考题	006
第二章 机构的结构分析	007
第一节 基本概念	007
第二节 机构运动简图	011
第三节 机构具有确定运动的条件	017
第四节 平面机构自由度计算	017
第五节 机构的组成原理	022
思考题	029
习题	029
第三章 机构的运动分析	034
第一节 机构运动分析的目的和方法	034
第二节 用速度瞬心法对机构进行速度分析	035
第三节 用相对运动图解法对机构进行运动分析	038
第四节 用解析法对机构进行运动分析	046
思考题	050
习题	050
第四章 机构的力分析	055
第一节 机械效率与机械自锁	055
第二节 运动副摩擦	056
第三节 考虑摩擦时机构的力分析	064

第四节 机构的动态静力分析	068
思考题	070
习题	070
第五章 连杆机构及其设计	072
第一节 平面连杆机构的类型及应用	072
第二节 平面连杆机构的基本性质	084
第三节 平面连杆机构设计	088
第四节 空间连杆机构的简介	103
思考题	106
习题	107
第六章 凸轮机构及其设计	111
第一节 凸轮机构的组成及分类	111
第二节 从动件的运动规律	116
第三节 凸轮廓线设计	125
第四节 凸轮机构基本尺寸的确定	133
第五节 圆柱凸轮设计简介	137
思考题	138
习题	139
第七章 齿轮机构及其设计	144
第一节 齿轮机构的类型及应用	144
第二节 齿廓啮合的基本定律及渐开线齿廓	146
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸	149
第四节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	155
第五节 渐开线圆柱齿轮的加工及其根切现象	162
第六节 渐开线变位齿轮机构	165
第七节 其他齿轮机构	173
思考题	188
习题	189
第八章 轮系	192
第一节 轮系及其分类	192
第二节 定轴轮系传动比的计算	195
第三节 周转轮系传动比的计算	198
第四节 混合轮系传动比的计算	202
第五节 轮系的功用	205
第六节 其他类型的行星轮系简介	209
思考题	213
习题	213

第九章 间歇运动机构	217
第一节 棘轮机构	217
第二节 槽轮机构	222
第三节 不完全齿轮机构	224
第四节 凸轮式间歇运动机构	226
思考题	228
第十章 其他常见机构	229
第一节 万向联轴节	229
第二节 螺旋机构	231
第三节 供料机构	234
第四节 行程放大机构	235
第五节 增力机构	236
思考题	237
第十一章 机械的运转及其速度波动的调节	238
第一节 概述	238
第二节 机械系统的等效动力学模型	240
第三节 机械运动方程式的建立及求解	244
第四节 机械的速度波动及其调节方法	247
第五节 飞轮设计	250
思考题	254
习题	254
第十二章 机械的平衡	258
第一节 概述	258
第二节 刚性转子的静平衡及动平衡设计	259
第三节 刚性转子的平衡试验及平衡精度	263
第四节 挠性转子的平衡简介	267
第五节 平面机构的平衡简介	268
思考题	272
习题	273
第十三章 机械系统及其运动方案设计	275
第一节 机构系统设计概述	275
第二节 机构系统的运动协调设计	277
第三节 机构系统的组成方法	278
第四节 机械系统运动方案的设计	282
思考题	290
附录 机械原理重要名词术语中英文对照表	291
参考文献	297

第一章 绪 论

【内容提要】

本章介绍机械原理课程的研究对象、内容、地位、任务及其在培养机械工程技术人才中的作用以及学习方法。介绍机器、机构、机械等名词概念，以及机器与机构的用途及区别，并通过实例说明各种机器的主要部分一般都是由各种机构组成的，目的在于便于学习者了解本课程的研究对象及内容。

第一节 机械原理研究的对象

机械原理是机器和机构理论的简称，它是一门以机器和机构为研究对象的科学。

1. 机器

在日常生活和生产过程中，人们广泛地使用着各种各样的机器，用以减轻人类自身的体力劳动、脑力劳动，提高工作效率。在有些人类难以涉足的场合，更是需要机器来代替人进行工作。我们接触过许多机器，如洗衣机、缝纫机、自行车、玩具、复印机、机械手、汽车、起重机等。不同用途的机器，其结构、性能也不同，但具有一些共同的特征。

下面通过实例，具体分析机器的组成和工作原理。

图 1-1 所示为一台单缸四冲程内燃机，它可以把燃气燃烧时产生的热能转化为机械能。它是由气缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、顶杆 8（或 8'）、大齿轮 9（9'）和小齿轮 10 和滚子 11（11'）等组成的。活塞的往复移动通过连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆用来启闭进气阀和排气阀。三个齿轮保证进、排气阀和活塞之间形成有一定节奏的动作。以上各种实物的协同工作便使燃气的热能转换为曲柄转动的机械能。

图 1-2 所示为一牛头刨床，它是将电动机 1 的旋转运动通过皮带传动，使小齿轮 2 带动大齿轮 3 转动（同时传力）；大齿轮 3 上用销子铰接一个滑块 4，它可在导杆 5 的槽中滑动，导杆 5 下端的槽中有一个与床身 11 铰接的摇块 6，当大齿轮 3 上的销子做圆周运动时，滑块 4 在导杆 5 的槽中滑动，同时推动导杆 5 绕摇块 6 的中心做往复摆动；导杆 5 的上端用销子和刨枕 7 铰接，推动刨枕 7 在刨床床身 11 的导轨中往复滑动，刨枕 7 上安装有刀架 8，其在工作行程中切削工件，回程时，刀架稍抬起后与刨枕 7 一起快速退回。在再次切削行程前，大齿轮 3 通过连杆和棘轮（图中未画出）及螺杆 10 使工作台 9（工件）横向移动一个

进刀的距离,以进行下一次切削。牛头刨床实现切削工件的能力,完成了有用的机械功,而电动机是将电能转化成机械能。

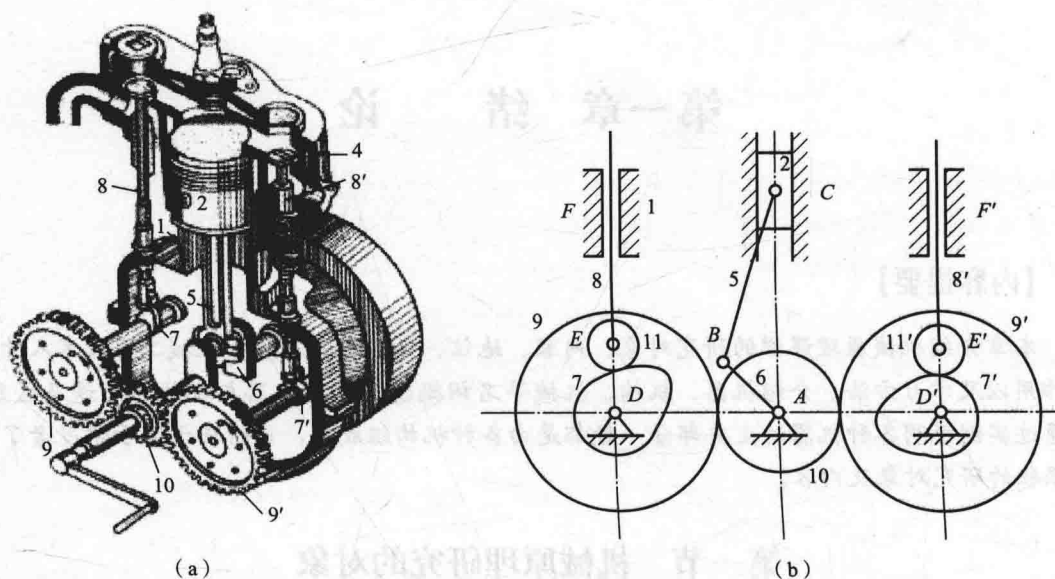


图 1-1 单缸四冲程内燃机

(a) 单缸四冲程内燃机构造示意图; (b) 单缸四冲程内燃机运动简图

1—气缸体; 2—活塞; 3—进气阀; 4—排气阀; 5—连杆; 6—曲轴; 7—凸轮;
8 (8')—顶杆; 9 (9')—大齿轮; 10—小齿轮; 11 (11')—滚子

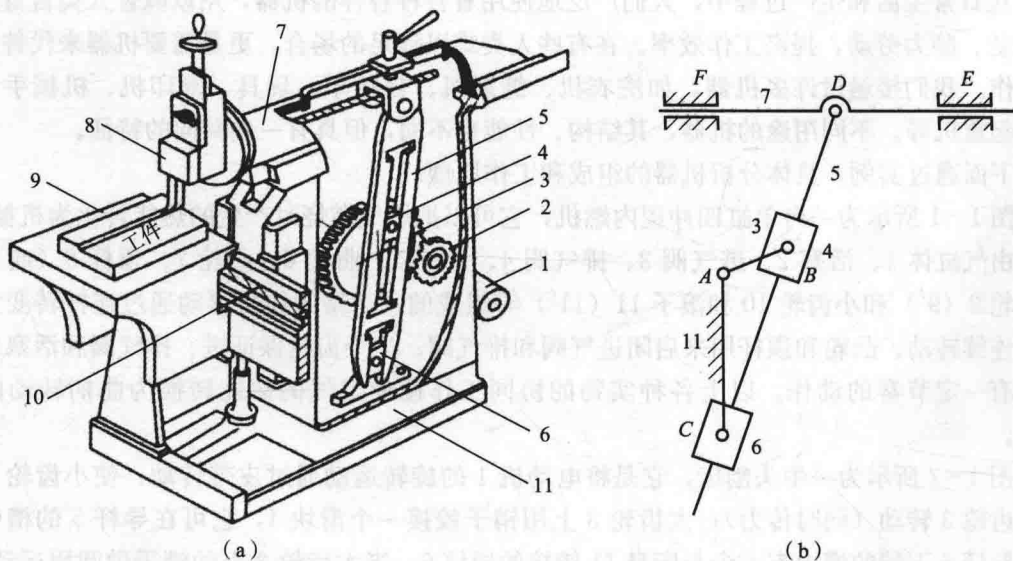


图 1-2 牛头刨床

(a) 牛头刨床构造示意图; (b) 牛头刨床运动简图

1—电动机; 2—小齿轮; 3—大齿轮; 4—滑块; 5—导杆; 6—摇块; 7—刨枕;
8—刀架; 9—工作台; 10—螺杆; 11—床身

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,却都具有以下几个共同的特征:

(1) 从组成观点看,它们都是一种人为的实物(构件)的组合体。

(2) 从运动观点看,组成它们的各部分之间都具有确定的相对运动。

(3) 从功、能观点看,能够用来转换机械能,完成有用功或信息处理。

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。动力机器的用途是实现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

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,有些构件是传递回转运动的;有些构件是把转动变为往复运动的;有些则是利用构件本身的轮廓曲线来实现预期规律的移动和摆动的。在工程实际中,人们常根据实现这些运动形式的构件的外形特点,把相应的一些构件的组合称为机构。例如,图1-1中的齿轮9(9')和齿轮10,图1-2中的齿轮2和齿轮3,其构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1-1中的凸轮7和顶杆8(8'),它的主要构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1-1中的活塞2、连杆5和曲轴6,图1-2中的滑块4、导杆5、摇块6、刨枕7,其构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,机构具有以下几个特征:

(1) 它们都是一种人为的实物(构件)的组合体。

(2) 组成它们的各部分之间都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,它可以完成能量的转换或做有用的机械功;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(构件)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或转换机械能的机构系统。

一部机器,可能是多种机构的组合体,例如上述的内燃机和牛头刨床就是由齿轮机构、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,所以从机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,组成机构的构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；有些机器还包括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）。

机械一般由以下几部分组成：

(1) 原动部分，是机械动力的来源。常用的原动机有电动机、内燃机、液压电动机和气缸等。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，介于原动部分和执行部分之间，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。

(5) 辅助部分，主要包括润滑系统、冷却系统、故障监测系统、安全保护系统和照明系统等，其作用是保证机械便于操作、正常运行、提高工作质量和延长使用寿命。

作为机械工程的一门基础学科，机械原理研究机器和机构的一些共性问题；此外，机器的种类虽有千千万万，但组成机器的机构的种类却是有限的，因此机械原理将以工程实际中常用的各种机构作为具体的研究对象，探讨它们各自在运动和动力方面的一些共同的基本问题。

机械原理课程的研究重点是机器的传动部分和执行部分（即各种机构），并不涉及机器的动力部分和控制部分。

第二节 机械原理研究的内容

机械原理研究的内容有以下几个方面：

1. 机构的分析

机构的结构分析，即研究机构的结构组成情况和组成原理、机构运动的可能性及确定性条件以及机构的结构分类等；机构的运动分析，即研究在给定原动件运动的条件下，机构上各点的运动轨迹以及位移、速度和加速度等运动特性；机构的力分析，即研究机械运转过程中各构件的受力情况，以及机构各运动副中力的计算方法、摩擦及机械效率等问题。

2. 机构的运动设计

机械虽然种类繁多，但构成各种机器的机构类型却很有限，常用的有齿轮机构、凸轮机构、连杆机构以及各种间歇机构等，主要讨论这些机构的结构原理与组成、设计理论和设计方法以及实际应用等问题。

3. 机械的动力设计

主要研究在已知力作用下机械的真实运动规律、机械运转过程中速度波动的调节问题以

及机械运转过程中所产生的惯性力系的平衡问题。

4. 机械系统方案设计

主要研究具体机械设计时的机械系统运动方案及机构的创新设计等问题。

第三节 机械原理的地位、任务和作用

“机械原理”是机械类各专业的一门主干技术基础课程。它在培养学生的机械设计能力和创新能力所需的知识、能力和素质结构中,占有十分重要的地位。它的任务是使学生掌握机构学和机器动力学的基本理论、基本知识和基本技能,学会常用机构的分析和综合方法,并具有进行机械系统设计的初步能力。它是以高等数学、普通物理、机械制图及理论力学等课程为基础,同时又为以后学习机械设计和有关专业课程以及掌握新的科学技术打好工程技术的理论基础,并能使学生受到一些必要的、严格的基本技能和创造思维的训练。“机械原理”课程在培养高级机械工程技术人才的全局中,为学生从事机械方面的设计、制造、研究和开发奠定了重要的基础,并具有增强学生适应机械技术工作能力的作用。

第四节 机械原理的学习方法

“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。现实生活中有各种各样构思巧妙与设计新颖的机构和机器,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。

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,二者是相辅相成的,但后者比前者更为重要。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,应着重讲重点、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,着重于能力的培养。这样,就可以利用你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世界,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,学习的内容变化了,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、解决工程实际问题、进行创造性设计,单靠逻辑思维是远远不够的,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,其先修课是高等数学、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在本课程的学习中。

4. 注意将所学知识用于工程实际,做到举一反三

“机械原理”是一门与工程密切相关的课程,因此学习本课程要更加注重理论联系实际。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。

【知识拓展】

机械原理学科是机械学学科及现代科学技术发展的重要基础。由于机械学科和电子、信息、计算机、生物、管理等学科相互渗透,相互结合,正焕发出新的生机与活力。机械原理学科研究领域十分广阔,内容非常丰富,发展十分迅猛,已由一般机械工程扩展到航空航天、深海作业、生物工程、微观世界和机械电子等。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。诸多机构的结构理论、常用机构和组合机构的设计、机器人机构与仿生机构、微型机械与机电一体化、机械系统设计等的研究,诸如计算机辅助设计与机构优化设计、机构创新设计理论,以及各种近代数学方法的运用和机械系统动力学研究的不断深入,使机械原理学科的研究呈现蓬勃发展的局面,也为机械原理学科的应用开拓了更广阔的前景。机构学研究领域的主要国际学术组织机构有《世界机构与机器理论联合会》(International Federation for Theory of Machine and Mechanisms, IFTOMM);主要国际学术刊物有《机构学与机器理论》(Mechanisms and Machine Theory, MMT)。有关深入拓展知识的内容和方法可阅文献[5]等。

思考题

- 1-1 机械原理课程的研究对象是什么?其研究内容包括哪几方面?
- 1-2 机器和机构有何联系与区别?
- 1-3 试列举3个机器实例,并说明其组成和功能。
- 1-4 试列举3个机构实例,并说明其组成和功能。
- 1-5 机械原理课程在培养机械类专业人才中起到什么作用?

第二章 机构的结构分析

【内容提要】

本章介绍机构的基本概念、机构运动简图的绘制、机构具有确定运动的条件、机构自由度计算及注意事项, 并进行杆组、机构级别、机构组成以及高副低代的平面机构结构分析。

第一节 基本概念

一、构件

任何用来传递运动或动力的机械都必然包含相对于机座可运动的系统。一般来说, 这种可运动系统是由一系列运动单元体组合而成的, 这种运动单元体称为构件。构件是最小的运动单元, 而零件则是加工制造的最小单元。例如图 2-1 (a) 所示的内燃机的连杆, 就是由连杆体 1、连杆头 2、轴瓦 3、螺杆 4、螺母 5 和轴套 6 等多个零件刚性连接而成的, 这些零件之间没有相对运动, 构成一个不可分割的运动单元, 成为一个构件。在本课程中, 以构件作为研究对象, 将构件视为刚体, 且往往不考虑构件本身的材料、形状和截面尺寸, 图 2-1 (b) 所示为该连杆的构件图。

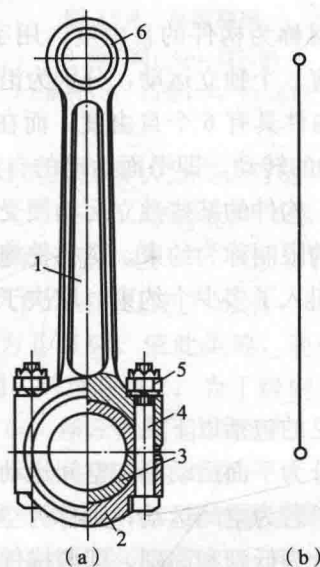


图 2-1 内燃机中的连杆

(a) 连杆的结构图; (b) 连杆的构件图

1—连杆体; 2—连杆头; 3—轴瓦; 4—螺杆; 5—螺母; 6—轴套

二、运动副

若将两构件按照一定方式连接起来,且使相互连接的两构件仍能产生某种形式的相对运动,则把这种可动连接称为运动副,并把两构件上参与接触而构成运动副的部分(点、线、面)称为运动副元素。

如图 2-2 所示的杆件 1 与杆件 2 的连接、导轨 3 与滑块 4 的配合、摆杆 5 与凸轮 6 的接触、齿轮 7 与齿轮 8 的啮合,都构成了运动副。构成运动副的两个构件间的接触形式包括点接触、线接触和面接触。

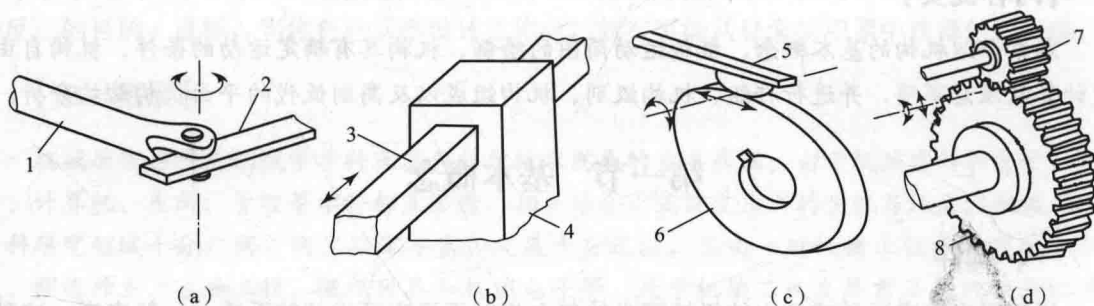


图 2-2 运动副、运动副元素

(a) 两连杆形成的运动副; (b) 导轨与滑块形成的运动副;

(c) 摆杆与凸轮形成的运动副; (d) 两齿轮形成的运动副

1, 2—连杆; 3—导轨; 4—滑块; 5—摆杆; 6—凸轮; 7, 8—齿轮

三、自由度、约束

构件所具有的独立运动的数目称为构件的自由度,用字母 F 表示。一个构件在未与其他构件连接之前,在三维空间中有 6 个独立运动,分别为沿 x 、 y 和 z 轴方向的移动及绕 x 、 y 和 z 轴的转动,即空间的自由构件具有 6 个自由度;而在二维平面内则有 3 个独立运动,分别为沿 x 、 y 轴的移动及绕 z 轴的转动,即平面运动的自由构件具有 3 个自由度。当两个构件通过可动连接构成运动副后,构件的某些独立运动便受到限制,构件间只能产生某些相对运动。运动副对构件独立运动的限制称为约束。对构件施加的约束数目等于其自由度减少的数目。两构件间形成的运动副引入了多少个约束,取决于运动副的类型。

四、运动副类型

运动副有多种分类方法,常见的包括以下几种:

按运动副的相对运动形式可分为平面运动副和空间运动副,即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。

按运动副的接触特性分类可分为低副和高副,即两构件通过面接触而构成的运动副称为低副;通过点或线接触而构成的运动副称为高副。

平面机构中的低副有移动副和转动副两种。若组成运动副的两构件只能沿着某一导路线

相对移动,则这种运动副称为移动副,如图 2-3 (a) 所示;若组成运动副的两构件只能在一个平面内相对转动,则这种运动副称为转动副,如图 2-3 (b) 所示。

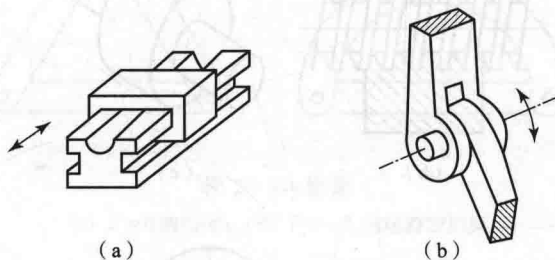


图 2-3 平面低副
(a) 移动副; (b) 转动副

在图 2-4 中,凸轮与推杆(图 2-4 (a))接触形成的运动副,以及两轮齿啮合(图 2-4 (b))所组成的运动副均为高副。由于在承受同等作用力时,点或线接触的运动副中具有较大的压强,所以高副相比低副更容易磨损。

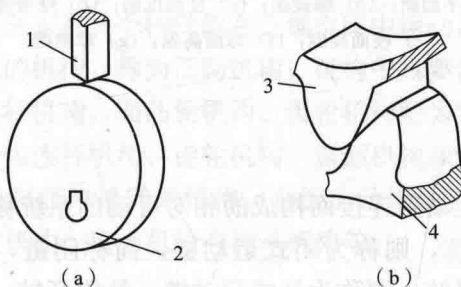


图 2-4 平面高副
(a) 凸轮副; (b) 齿轮副

1—推杆; 2—凸轮; 3, 4—轮齿

空间运动副按运动副接触部分的几何形状分类,可分为平面副(图 2-5 (a))、螺旋副(图 2-5 (b))、柱面低副(图 2-5 (c))、球面低副(图 2-5 (d))、柱面高副(图 2-5 (e))、球面高副(图 2-5 (f))和球销副(图 2-5 (g))等。

此外,还可以按运动副所引入的约束数目进行分类,即把引入一个约束的运动副称为Ⅰ级副,引入两个约束的运动副称为Ⅱ级副,依此类推,还有Ⅲ级副、Ⅳ级副和Ⅴ级副。例如,图 2-5 (f) 所示的球面高副,约束数是 1,为Ⅰ级副;图 2-5 (e) 所示的柱面高副,约束数是 2,为Ⅱ级副;图 2-5 (a) 所示的平面副和图 2-5 (d) 所示的球面低副,约束数是 3,为Ⅲ级副;图 2-5 (c) 所示的柱面低副和图 2-5 (g) 所示的球销副,约束数是 4,为Ⅳ级副;图 2-5 (b) 所示的螺旋副虽然可以绕着轴线转动并沿轴线移动,但二者之间存在确定的函数关系,独立运动只有 1 个,约束数为 5,因此,螺旋副与图 2-3 所示的移动副和转动副一样,同为Ⅴ级副。

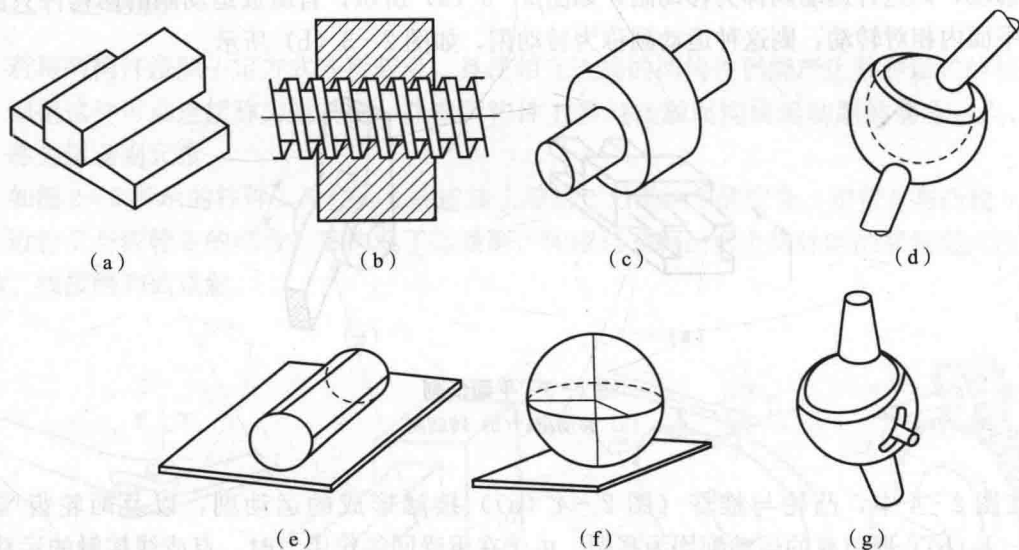


图 2-5 空间运动副

(a) 平面副；(b) 螺旋副；(c) 柱面低副；(d) 球面低副；
(e) 柱面高副；(f) 球面高副；(g) 球销副

五、运动链

把由若干个构件通过运动副连接而构成的相对可动的系统称为运动链。若运动链的各构件构成了首尾封闭的系统，则称为闭式运动链，简称闭链，如图 2-6 (a) 所示；反之，若未构成首尾封闭的系统，则称为开式运动链，简称开链，如图 2-6 (b) 所示。闭链的各构件上至少有两个运动副元素；只要有一个构件仅含一个运动副元素即为开链。机械中绝大部分机构都由闭链组成，而开链则多用于工业机器人的机械手、挖掘机等多自由度的机械中。

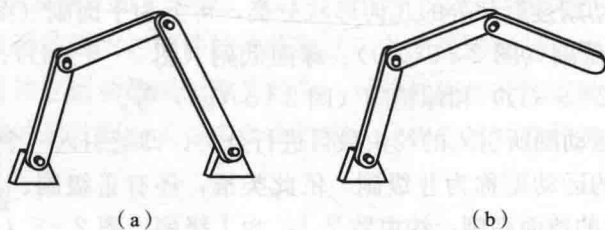


图 2-6 运动链

(a) 闭链；(b) 开链

应当注意的是，图 2-7 中所示的系统虽然也是由杆件和运动副所组成，但由于约束过多，导致各杆件间均不能做相对运动。因此，该系统不是运动链而是桁架，在运动上只相当于一个构件，桁架的自由度小于或等于零。

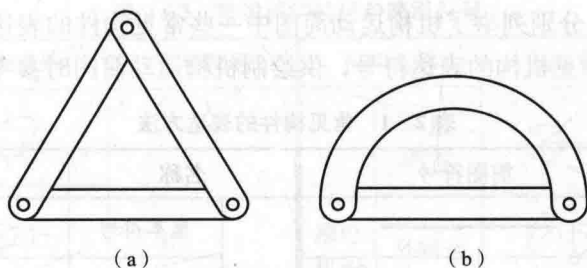


图 2-7 桁架

(a) $F=0$ 的桁架; (b) $F=-1$ 的超静定桁架

六、机构

在运动链中,若选定某构件为机架,且各构件具有确定的运动,则称该运动链为机构。

机架是固定不动的构件。安装在诸如车辆、船舶、飞机等运动物体上的机构,机架相对于该运动物体是固定不动的。按照给定运动规律独立运动的构件称为原动件(或主动件),其余活动构件则称为从动件。

机构中各构件的运动平面若互相平行,则称为平面机构。若机构中至少有一个构件不在相互平行的平面上运动,或至少有一个构件能在三维空间中运动,则称为空间机构。

完全由低副连接而构成的机构,称为低副机构;机构中只要含有一个高副,就称为高副机构。常见的低副机构如连杆机构,而凸轮机构、齿轮机构则为常见的高副机构。

按结构特征可将机构分为连杆机构、齿轮机构、斜面机构和棘轮机构等。按所转换的运动或力的特征,可分为匀速和非匀速转动机构、直线运动机构、换向机构、间歇运动机构等;按功用可分为安全保险机构、增力机构和擒纵机构等。

第二节 机构运动简图

一、机构运动简图的概念

机构运动简图是用运动副代表符号和简单线条来反映机构运动关系的简明图形。与零件图和装配图不同,机构运动简图所反映的主要信息包括:机构中构件的数目、运动副的类型和数目、各构件运动副元素的相对位置等。在绘制机构运动简图时,需要表达出机构的组成形式,并显示出设计方案,而对于构件的外形、断面尺寸、组成构件的零件数目及固连方式等均不予考虑。

机构运动简图应与机械具有相同的运动特性,需要按一定的比例尺绘制。在绘图中,长度比例尺通常采用如下定义形式:

$$\mu_l = \frac{\text{实际尺寸}}{\text{图示长度}} \left(\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \text{ 或 } \frac{\text{m}}{\text{mm}} \right)$$

严格按照长度比例尺正确画出的机构运动简图,能够完全表达原机械具有的运动特性,可作为图解运动分析的依据。但有时只是为了表明机构的构成情况或说明其动作原理,则可以不严格地按比例绘制,这样的机构简图通常称为机构运动示意图。

表 2-1~表 2-3 分别列举了机构运动简图中一些常见构件的表达方法、常见运动副的表达方法以及一部分常见机构的表达符号, 供绘制机构运动简图时参考。

表 2-1 常见构件的表达方法

名称		简图符号	名称		简图符号
构件	轴、杆		机架	基本符号	
	三副构件			机架为转动副的一部分	
	两副构件			机架为移动副的一部分	
	同一构件			机架为高副的一部分	

表 2-2 常见运动副的表达方法

名称	图 形	表示符号	级别	自由度	名称	图 形	表示符号	级别	自由度
球面高副			I	5	柱面低副			IV	2
柱面高副			II	4	转动副			V	1
球面低副			III	3	移动副			V	1
球销副			IV	2	螺旋副			V	1