

第 0 章 绪 论

0.1 课程研究的对象和内容

0.1.1 研究的对象

1. 机械

机械设计基础课程研究的对象是机械。什么是机械？机械是机器和机构的总称。

机械伴随着人类社会的不断进步逐渐发展与完善，并已成为现代社会生产和生活的重要组成部分。从广义角度讲，凡是能完成一定机械运动的装置都是机械，如飞机、汽车、机床、电动机、机器人及各种家用机械等(图 0.1)。

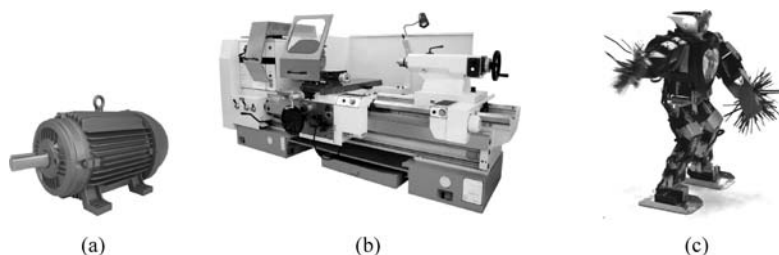


图 0.1(c)

图 0.1 机械产品

(a) 电动机；(b) 机床；(c) 机器人

人类在长期的生产实践中，逐渐地设计和创造了各种各样的机器，涉及人类活动的各个领域。尽管种类、用途不同，但它们都有一些共同的特征。

图 0.2 所示的单缸四冲程内燃机，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、齿轮 9 和齿轮 10 等组成。燃气推动活塞作往复移动，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，在曲轴和凸轮轴之间安装了齿轮，齿数比为 1:2。这样，当燃气推动活塞运动时，进、排气阀有规律地启闭，加上气化、点火等装置的配合，就把燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。

图 0.3 所示为一种常见的洗衣机外观及其传动系统示意图。洗涤时，牵引器不动，制动带抱紧

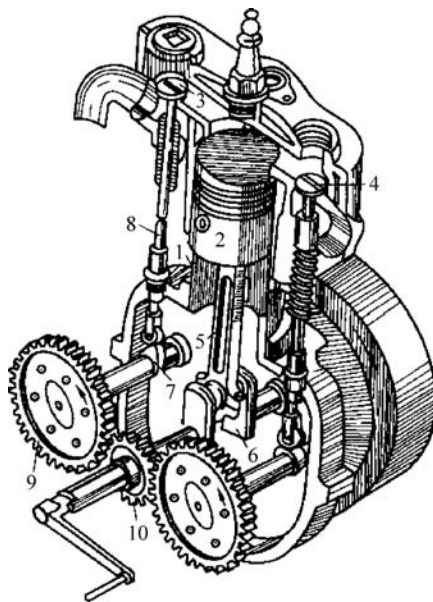


图 0.2

图 0.2 单缸四冲程内燃机结构

齿轮箱,使之处于静止状态;棘爪与棘轮工作,使离合簧处于放松状态。于是,电动机经 V 带传动将运动和动力传到高速轴,再通过高速轴及定轴齿轮传动,输出正向的波轮转动和反向的内桶转动。脱水时,牵引器动作,制动带处于放松状态;棘爪在牵引器的作用下脱离棘轮,致使离合簧紧缠在脱水轴和高速轴上,使高速轴、脱水轴、齿轮箱及脱水桶作为一个整体运动。于是,电动机经主动轮、V 带将运动和动力传至从动轮,再通过高速轴、脱水轴带动脱水桶作脱水运动。洗衣机将电能转换为机械能。

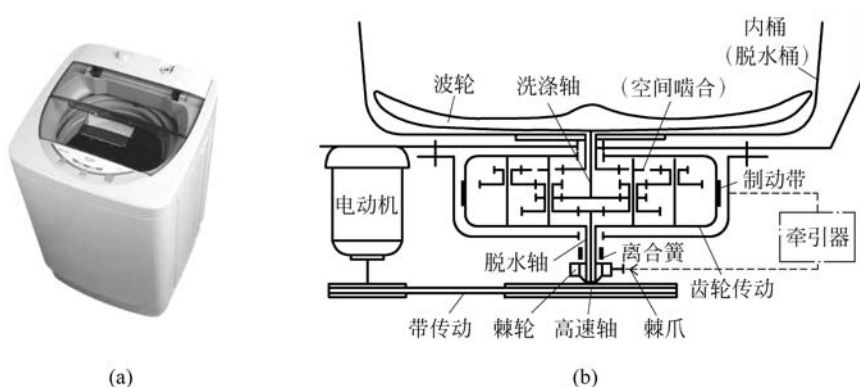


图 0.3 洗衣机

(a) 外观图; (b) 传动系统示意图

再如,发电机主要是由转子(电枢)和定子组成的,当驱动转子回转时,发电机就把机械能转换为电能。

2. 机器

从图 0.2 和图 0.3 的两个例子可以看出,机器具有下列特征:①它们都是一种通过加工制造和装配而成的人为的实物组合体;②它们各部分之间具有确定的相对运动;③它们用来代替或减轻人类的劳动去完成有用的机械功,或转换机械能。

一台完整的机器通常由以下三个基本部分组成(图 0.4 中的双线框)。

(1) 原动机部分。是驱动整部机器完成预定功能的动力源,其功能是将其他形式的能量转换为机械能(如内燃机和电动机分别将热能和电能转换为机械能)。

(2) 执行部分。也称工作部分,是用来完成机器预定功能的组成部分,其功能是利用机械能去转换或传递能量、物料、信息,如发电机把机械能转换成电能,轧钢机变换物料的外形等。

(3) 传动部分。介于原动机部分和执行部分之间,其功能是把原动机的运动形式、运动和动力参数转变为执行部分所需要的运动形式、运动和动力参数,例如把旋转运动转变为直线运动,高转速转变为低转速等。机械的传动部分大多数使用机械的传动系统,也可使用液压或电力传动系统。

为了使机器以上三个基本部分协调工作,并准确、可靠地完成整体功能,还需要不同程度地增加其他部分,如控制部分和辅助部分(图 0.4 中的单线框)。

3. 机构、构件与零件

1) 机构

机构也是人为的实物组合体,其各部分之间具有确定的相对运动,因此机构只具有机器

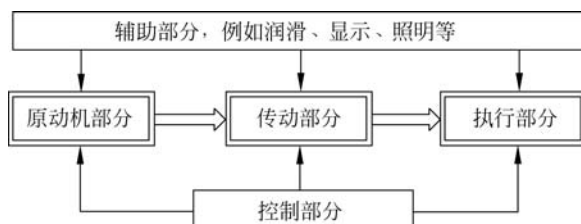


图 0.4 机器的组成

的前两个特征。在内燃机中,活塞、连杆、曲轴和气缸体组成一个曲柄滑块机构,可将活塞的往复移动转变为曲轴的连续转动。凸轮、顶杆和气缸体组成凸轮机构,将凸轮的连续转动转变为顶杆的有规律的往复移动。而曲轴、凸轮轴上的齿轮和气缸体组成齿轮机构,可使两轴保持一定的转速比。由此可见,机器是由机构组成的。一部机器可以包含几个机构,也可以只包含一个机构,如电动机、鼓风机。

若抛开机器在做功和转换能量方面所起的作用,仅从结构和运动的观点来看,则机器与机构之间并无区别。因此,习惯上用“机械”一词作为机器和机构的总称。

2) 构件

组成机构的各个相对运动部分称为构件。构件可以是单一的整体(如图 0.5(a)所示的曲轴),也可以是由几个零件组成的刚性连接(如图 0.5(b)、(c)所示的连杆)。由于结构、工艺等方面的原因,内燃机的连杆由连杆体、连杆盖、轴瓦、螺栓、螺母及开口销等几个零件组成。这些零件形成一个整体而进行运动,该整体称为一个构件。构件是运动的单元。

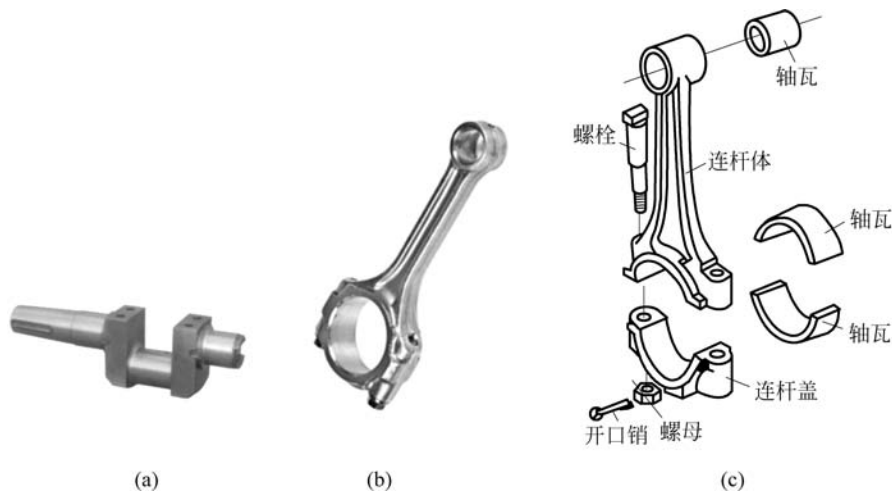


图 0.5 内燃机的曲轴和连杆

(a) 曲轴; (b) 连杆; (c) 连杆拆分子件

值得指出的是,从现代机器发展趋势来看,机构中的构件可以是刚性的,也可以是挠性的或弹性的,或是由液压、气动、电磁件构成的,故机构并非都是由刚性构件组成的。

3) 零件

零件是组成构件或机器的制造单元。如内燃机曲轴,在内燃机的曲柄滑块机构中是一个运动单元,也是一个制造单元;既是构件,也是零件;再如组成连杆的连杆体、连杆盖、螺



图 0.5

栓及螺母等(图 0.5),则分别是不同的制造单元,均属于零件,各零件间没有相对运动。零件是制造后没有经过组装的物体,因而是组成机器的最小制造单元。

一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合体称为部件,如减速器、联轴器、离合器等。部件是装配的单元。零件和部件可以统称为零部件。

机械中的零部件可以分为两类。一类为通用零部件,它是在各种机械中经常用到的,按同一标准制造的零部件,如齿轮、轴承、螺栓、螺母等;另一类为专用零部件,它是为特定机械特别制造的零部件,只出现于某些特定的机械中,如汽轮机叶片、内燃机活塞等。

0.1.2 内容和特点

1. 内容

机械设计基础课程作为机械设计的基础,主要介绍机械中常用机构和通用零部件的工作原理、运动特性、结构特点、使用维护以及相关标准和规范。这些内容是机械设计的基本内容,在各种机械设计中是普遍适用的。从庞然大物般的万吨水压机到袖珍机械式手表,从航天器中的高精度仪表到精度要求较低的简单机器,它们所用的同类机构和零件,虽然尺寸大小、具体结构形状、工作条件等有很大差异,但其工作原理、运动特点、设计计算的基本理论和方法是类同的。

2. 特点

1) 多学科知识的综合性

机械设计基础是数学、物理学、理论力学、材料力学、工程图学、机械制造基础、金属材料及热处理、公差配合与技术测量等有关技术基础课程知识的综合运用。设计时要特别注意理论联系实际,切忌纯理论观点。由理论计算出的数据一定要考虑诸多工程实际问题,例如加工的可能性、结构的合理性、产品的经济性问题。

2) 设计步骤和设计结果的多样性

考虑到机械设计的综合性,设计者采用的设计步骤和设计结果都具有多样性。要善于分析利弊,择优选取最佳设计方案。

3) 试算法

由于实际工程问题比较复杂,涉及的相关未知因素很多,例如,齿轮传动涉及齿轮材料、加工工艺性能及齿轮参数(如中心距、模数、齿数、齿宽、螺旋角等),很难实现一步求解得出结论,往往需要采用“试算法”,通过反复的初设、计算、分析、修改,最后才能取得较为满意的结果。

0.1.3 性质和任务

1. 性质

机械设计基础是一门培养学生具有一定的机械设计能力的技术基础课程。与其他基础课程相比,它更接近工程实际;与专业课程相比,它有更宽的研究面和更广的适应性。本课程主要综合运用了许多先修课程,并为后续课程即专业课打下牢固的基础,因此,本课程在教学计划中起着承上启下的重要作用。

2. 主要任务

(1) 掌握机构的结构、运动特性和机械动力学的基本知识,初步具有分析和设计基本机

构的能力,并对机械运动方案的确定有所了解。

(2) 掌握通用零部件的工作原理、特点、维护和设计计算的基本知识,初步具有设计机械传动装置和简单机械的能力。

(3) 具有运用标准、规范、手册和图册等有关技术资料的能力。

(4) 培养创新设计、总结归纳和综合运用所学知识的能力。

0.2 机械设计的基本要求、一般程序和标准化

0.2.1 机械设计的基本要求

机械设计就是根据生产及生活上的某种需要,规划和设计出能实现预期功能的新机器或对原有机械进行改进的创造性工作过程。机械设计是机械生产的第一步,是影响机械产品制造过程和产品性能的重要环节。因此,尽管设计的机械种类繁多,但设计时都应满足下列基本要求。

1. 使用功能要求

所设计的机械应具有预期的使用功能,既能保证执行机构实现所需要的运动(包括运动形式、速度、运动精度和平稳性等),又能保证组成机构的零部件工作可靠,有足够的强度和使用寿命,而且使用、维护方便。这是机械设计的基本出发点。

2. 安全可靠要求

(1) 使机器和零件在规定的载荷作用下和规定的时间内,能正常工作而不发生断裂、过度变形、过度磨损,不丧失稳定性。

(2) 能实现对操作人员的保护,保证人身安全和身体健康。

(3) 对于环境不会造成污染,同时要保证机器对环境的适应性。

3. 经济性要求

设计机械时,一定要反对单纯追求技术指标而不顾经济成本的倾向。经济性要求是一个综合指标,它体现在机械的设计、制造和使用的全过程中,因此,设计机械时,应全面综合地考虑以下两方面的经济性要求。

(1) 提高设计、制造的经济性。提高设计、制造的经济性的措施主要有:运用现代设计方法,使设计参数最优;推广标准化、系列化和通用化;采用新工艺、新材料、新结构;改善零部件的结构工艺性;合理地规定制造精度和表面粗糙度等。

(2) 提高使用的经济性。提高使用的经济性的措施主要有:选用效率高的传动系统和支承装置,以降低能量消耗;提高机械的自动化程度,以提高生产率;采用适当的防护及润滑措施,以延长机械的使用寿命等。

4. 其他要求

应使机器外形美观,便于操作和维修。此外,还必须考虑到,由于工作环境和要求不同,从而对有些机器的设计提出某些特殊要求,如耐腐蚀、高精度等,如果机器用于制造食品,需要考虑卫生条件。

0.2.2 机械设计的一般程序

机械设计是建立满足机械功能要求的技术系统的创作过程。一部机器或一个机械产品

从无到有要经历机械设计的各个程序。机械设计的一般程序主要包括计划阶段、方案设计阶段、技术设计阶段和改进设计阶段,具体步骤如图 0.6 所示。

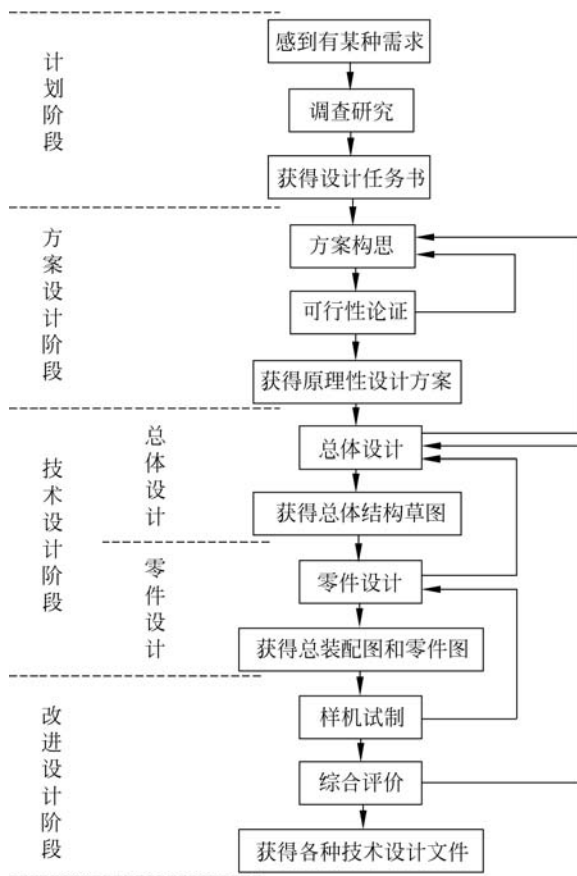


图 0.6 机械设计的一般程序

0.2.3 机械设计中的标准化

标准化是组织现代化大生产的重要手段,也是实行科学管理的重要措施之一。标准化是指对机械零部件的种类、尺寸、结构要素、材料性能、检验方法、设计方法、公差配合、制图规范等制定出大家共同遵守的标准。设计者无需重复设计,可直接从相关手册和样板中选用这些标准。不同类型、不同规格的机器中,很多零部件是相同的,将这些零部件加以标准化,并按不同尺寸加以系列化,在系列之内或跨系列的产品之间尽量采用统一结构和尺寸的零部件,即通用化。标准化、系列化、通用化称为“三化”。

标准化的意义在于:

(1) 能以最先进的方法在专门化的工厂中对那些用途最广泛的零部件进行大量的、集中的制造,从而提高零部件的质量,降低成本。

(2) 能统一材料和零部件的性能指标,使其能够进行比较,从而提高零部件性能的可靠性。

(3) 采用标准结构和标准零部件,可以简化设计工作,缩短设计周期,有利于设计者把主要精力用在关键零部件的设计上,从而提高设计质量。

(4) 提高互换性,简化了机器的维修工作。

由于标准化具有明显的优越性,所以应在机械设计中大力推广,一个国家的标准化程度代表着其工业制造的先进程度。

我国现行标准分为国家标准、行业标准、地方标准和团体标准、企业标准。国家标准又分为强制性标准(GB)和推荐性标准(GB/T)两种。为增强在国际市场的竞争力,我国鼓励采用国际标准化组织(ISO)的标准。近年来我国发布的国家标准,许多都采用了相应的国际标准。设计人员必须熟悉现行的有关标准,会利用机械设计手册或机械工程手册等查阅有关标准和资料。

0.3 机械零件设计的基本准则及一般步骤

1. 机械零件设计的基本准则

机械零件由于某种原因而不能正常工作时,称为失效。机械零件常见的失效形式有断裂或塑性变形、超过规定的弹性变形、工作表面的过度磨损和损伤、打滑或过热,以及发生强烈的振动等。根据失效原因而制定的判定条件称为计算准则,设计中常将这些准则作为防止失效和进行设计计算的依据。

(1) 强度准则。强度是机械零件首先应满足的基本要求。为了保证零件具有足够的强度,应使零件在载荷作用下,其危险截面或工作表面上的工作应力 σ (正应力)或 τ (切应力)不超过零件的许用应力 $[\sigma]$ 或 $[\tau]$,即

$$\sigma \leq [\sigma] \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau] \quad (0.1)$$

(2) 刚度准则。刚度是零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。如果零件的刚度不足,产生的弹性变形过大,会影响机器的正常工作。例如,机床主轴刚度不足会影响零件的加工精度,对这类机器的有关零件需进行刚度计算,设计时必须使零件在载荷作用下产生的最大弹性变形量不超过许用变形量,即

$$y \leq [y], \quad \theta \leq [\theta], \quad \varphi \leq [\varphi] \quad (0.2)$$

式中, y 、 $[y]$ 分别为零件的变形量和许用变形量; θ 、 $[\theta]$ 分别为零件的转角和许用转角; φ 、 $[\varphi]$ 分别为零件的扭角和许用扭角。

(3) 耐磨性准则。运动副中,摩擦表面物质不断损失的现象称为磨损。磨损会使零件形状及尺寸发生改变,配合间隙增大,精度降低,产生冲击振动从而失效。零件抵抗磨损的能力称为耐磨性。设计时应使零件在预期使用寿命内的磨损量不超过允许范围。有关磨损的计算,常采用条件性计算:使接触表面上的正压力 p 与 pv 值小于或等于许用值 $[p]$ 和 $[pv]$,即

$$p \leq [p] \quad \text{或} \quad pv \leq [pv] \quad (0.3)$$

式中, v 为零件工作表面的相对滑动速度。

(4) 热平衡准则。对于传动效率低、发热量大的运动副(如蜗杆传动副),若散热不良,会导致零件温升过高,以致两零件局部接触表面熔融,接触表面材料由一个零件表面转移到另一个零件表面(指接触表面擦伤、撕脱,严重时相互咬死),即所谓胶合。对此应进行散热

计算,使其正常工作时的温度 t 不超过许用工作温度 $[t]$,即

$$t \leq [t] \quad (0.4)$$

(5) 振动稳定性准则。当机器或零件的自振频率和周期性外载的变化频率相等或接近时,振幅将急剧增大,发生共振,这种现象称为“失去振动稳定性”。共振可在短期内使零件破坏,应避免零件的固有频率和周期性外载的变化频率相等或接近。

(6) 可靠性准则。由于机械零件的工作条件和其材料的机械性能等都具有随机性,所以机械零件能够在设计寿命内正常工作是有概率的。可靠性要求就是要保证这种正常工作的概率不小于允许值。

2. 机械零件设计的一般步骤

- (1) 根据使用要求(如功率、转速等),选择零件类型及结构形式,并拟定设计草图。
- (2) 根据零件的工作条件,选择合适的材料及热处理方法。
- (3) 计算作用在零件上的载荷。
- (4) 分析零件的主要失效形式,选择相应的设计准则,确定零件的基本尺寸。
- (5) 按结构工艺性及标准化的要求,设计零件的结构及具体尺寸。
- (6) 绘制零件工作图,拟定技术要求,编写设计计算说明书。

在实际工作中,也常用与上述相逆的方法进行校核计算,即先参照已有实物或图纸,用经验数据或类比法初步设计出零件结构尺寸,然后再按有关准则进行校核。

习 题

- 0.1 机械设计基础课程的性质和任务是什么?通过本课程的学习应达到哪些要求?
- 0.2 什么是通用零件?什么是专用零件?试举例说明。
- 0.3 指出汽车中若干通用零件和专用零件。
- 0.4 指出下列机器的动力部分、控制部分和执行部分:汽车、自行车、车床、电风扇。
- 0.5 什么是机械设计中的标准化?实行标准化有何重要意义?

第 1 章 平面机构的结构分析

1.1 概 述

所有构件的运动平面都相互平行的机构称为平面机构,否则称为空间机构。由于工程实际应用和生活使用的机器中,绝大多数都可以简化成平面机构进行分析,所以本章仅讨论平面机构。

机构是一个由构件通过连接形成的构件系统,构件之间形成了可动的连接,由于机构中各构件之间应具有确定的相对运动,所以任意两构件之间的可动的连接也是确定的。但对于通过可动的连接将构件任意组合而成的构件系统,其构件间可能发生相对运动,也可能不能运动。即使能运动,也不一定具有确定的相对运动,故不具有确定的相对运动的构件系统一定不是机构。本章将讨论构件系统在什么条件下,各构件间具有确定的相对运动。

机器可以由一个单一的机构组成的,也可以是由多个机构组合而成的。通常机器的外形和结构复杂,工程技术人员和研究人员需要将机器简化和拆分成机构进行分析。所以通常用一些简单的线条和符号作为工程图形语言表征机构,即用机构运动简图表示实际机械。

1.2 运 动 副

平面机构是由许多构件组合而成的。每个构件都以一定的方式与其他构件直接接触,并能产生一定的相对运动,两构件之间这种可动的连接称为运动副。运动副包含三层含义:两个构件、直接接触、相对运动。两构件之间的直接接触形式有点接触、线接触、面接触,按照接触形式,通常把运动副分为低副和高副。

1. 低副

两构件通过面接触构成的运动副称为低副。根据两构件间的相对运动形式,低副又分为转动副和移动副。

(1) 转动副。构成运动副的两构件只能在一个平面内做相对转动,则该运动副称为转动副或铰链,如图 1.1 所示。

(2) 移动副。构成运动副的两构件只能在一个平面内做相对移动,则该运动副称为移动副,如图 1.2 所示。

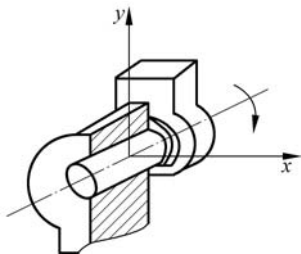


图 1.1 转动副或铰链

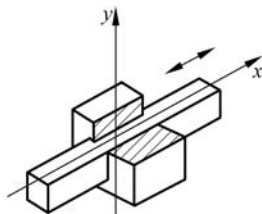


图 1.2 移动副



图 1.1



图 1.2

2. 高副

构件通过点或线接触构成的运动副称为高副,如图 1.3 所示。如图 1.3(a)所示,火车车轮 1 与钢轨 2 在 A 处通过线接触构成高副;如图 1.3(b)所示,凸轮机构的从动件 2 的尖底与凸轮 1 通过点接触构成高副;如图 1.3(c)所示,一对齿轮 1 和 2 的轮齿啮合传动,通过线接触构成高副。



图 1.3(a)



图 1.3(b)



图 1.3(c)

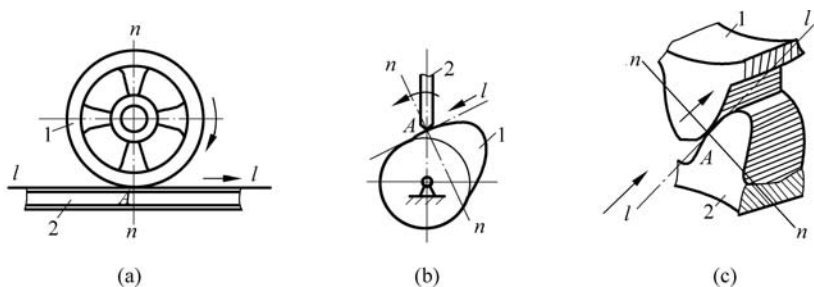


图 1.3 高副

(a) 车轮与钢轨; (b) 凸轮机构; (c) 齿轮机构

此外,常用的运动副还有球面副和螺旋副,如图 1.4 所示,由于它们都是空间运动副,本章不作讨论。



图 1.4(a)



图 1.4(b)

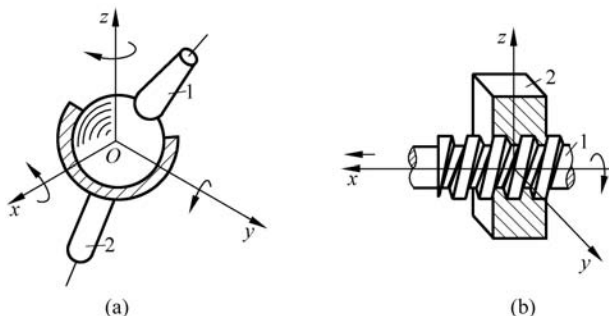


图 1.4 球面副和螺旋副

(a) 球面副; (b) 螺旋副

3. 低副与高副的区别

由于接触形式不同,低副与高副在使用方面主要存在以下区别:

(1) 低副为面接触,因而其两构件接触处的压强小,承载能力大,耐磨损,寿命长,且因其形状简单,所以容易制造;而高副为点或线接触,则相反。

(2) 低副的两构件之间只能做相对滑动,而高副的两构件之间则可做相对滑动或滚动,或二者并存,如图 1.3 所示的凸轮副和齿轮副。

4. 运动链与机构

两个以上的构件以运动副相连接而构成的系统称为运动链,如图 1.5 所示。若运动链中的各构件首尾相连,则称为闭式运动链,如图 1.5(a)所示;否则称为开式运动链,如图 1.5(b)所示。当运动链中的某一构件固定,给定其中的 1 个或几个构件做确定的独立运动时,若其余的非固定构件随之做确定的运动,则该运动链成为机构。