

第 1 篇 机械设计概论和机构结构

本篇叙述机械设计概论,以及平面机构的结构和运动简图,为深入学习机械的工作原理、组成结构、标准规范和设计计算方法奠定基础。

第 1 章 机械设计概论

本章介绍机械和机器等概念、机械设计发展概况、机械设计的一般过程、机械功能原理、机械设计约束和机械结构设计等基本内容,以及“机械设计基础”课程主要内容和教学特点。

教学目标:

1. 知识目标

- (1) 掌握机械的概念和组成。
- (2) 了解机械设计的发展概况。
- (3) 熟悉课程主要内容、基本要求和学习特点。
- (4) 熟悉机械设计的过程。
- (5) 熟悉机械功能原理设计(重点是动作功能和工艺功能)。
- (6) 掌握机械设计约束的基本内容(重点是承载能力约束)。
- (7) 熟悉机械结构设计的基本要求(重点是工艺性准则和强度刚度准则)。

2. 能力目标

- (1) 具有分析机械的组成和工作原理的能力。
- (2) 具有分析机械功能结构的基本能力。
- (3) 能够提出机械功能结构的求解思路。
- (4) 具有合理运用加工和装配工艺性进行机械结构设计的初步能力。

1.1 课程概论

1.1.1 机械的概念和组成

为了减轻劳动强度,改善劳动条件,提高劳动效率和工作质量,人们在日常生活和生产过程中,创造和广泛使用着各种各样的机械,例如实现机械能与其他形式能量之间转换的动力机械(如电动机、内燃机、液压泵和压缩机等),用以改变物料的状态、性质、结构和形状的加工机械(如金属切削机床、纺织机械、压力机和包装机等),用以改变物体空间位置的运输

机械(如自行车、摩托车、汽车、火车、飞机、轮船、缆车、电梯和输送机等),用以获取和处理各种信息的信息机械(如复印件、打印机、传真机、绘图仪、数码照相机和数码摄影机等)。

“机械”一词源自希腊语及拉丁文“巧妙的设计”原意,主要是为了区别于手工工具。机械是机器和机构的总称,它们都是一种人为的实物构件的组合,并且各部分之间具有确定的相对运动。因此,从功能结构和实现运动的观点来看,机器和机构之间没有区别。但是机器能代替人类的劳动以完成有用的机械功或转换机械能,故机器是能转换机械能或完成有用机械功的机构。机器通常用来指机械的实体,例如自行车、拖拉机和内燃机等;机构是由若干构件以一定方式连接组成,用以传递动力、运动或是转换运动形式的系统,例如本书后面介绍的各种连杆机构、凸轮机构和轮系等;而机械则常用于更广泛和抽象的意义上,例如机械工业、农业机械化等。具体的某机械可能是机器,也可能是机构,还可能是兼有机器和机构两者。

机器执行机械运动,用以变换或传递能量、物料或信息。虽然机械的种类繁多,构造、性能和用途各不相同,但是从机械的功能结构来看,它们一般包括原动、执行、传动、控制和支撑等几部分,如图 1-1 所示。

原动部分是机器的原动力来源,它的作用是将其他形式的能转变为机械能,以驱动机械,并且做有用功,例如热力发动机、水力发动机、风力发动机和电动机等。

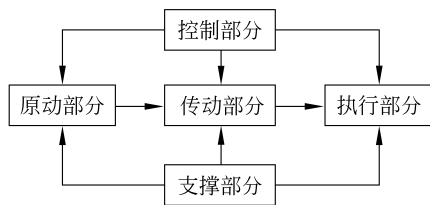


图 1-1 机械的组成

传动部分把原动部分的运动和动力传递给执行部分,转变成执行部分所需的运动,它可以改变运动参数(位移、速度和加速度等)和转换运动形式(移动、摆动和转动等),满足执行部分的工作要求。例如,减速器将电动机的高速转动变成工作机械所需要的低速转动,齿轮齿条机构将旋转运动转换为直线移动等。

执行部分直接完成机械预定的功能,按生产工艺所需要的运动规律和方式作确定的运动。例如缝纫机上的机针机构、挑线机构和送布机构,机床的主轴和刀架,起重机的吊钩等。

控制部分是使机器的原动部分、传动部分和执行部分按照一定的顺序和规律运动,完成预定的工作循环,通常使用开关、离合器、制动器等各种机械和电子控制系统。

支撑部分是整个机器安装的基座。

随着伺服驱动技术、检测传感技术、自动控制技术、信息处理技术、材料及精密机械技术、系统总体技术的飞速发展,传统机械在产品结构和生产系统结构等方面发生了质的变化,形成了一个崭新的现代机械工业。现代机器已经成为一个以机械技术为基础,以电子技术为核心的高新技术综合系统。因此,现代机器的定义是由计算机信息网络协调与控制的,用于完成包括机械力、运动和能量转换动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统。因此,现代机器突出了计算机技术在现代机器中的协调控制的核心作用,同时也强调了现代机器的主要功能仍然是执行机械运动、完成有用功和进行能量的转换。

能力训练案例 1-1 试分析图 1-2 所示单缸内燃机的组成和工作原理。

解: 内燃机是一种广泛使用的动力机械,它可以将燃料的化学能转换为机械能输出。

(1) 单缸内燃机的组成。包括主体部分的圆柱汽缸体 1(机架),在汽缸体内有上下移动的圆柱形活塞 4(为了防止燃烧气体泄漏,在活塞上装有密封气体的活塞环);汽缸体的上部

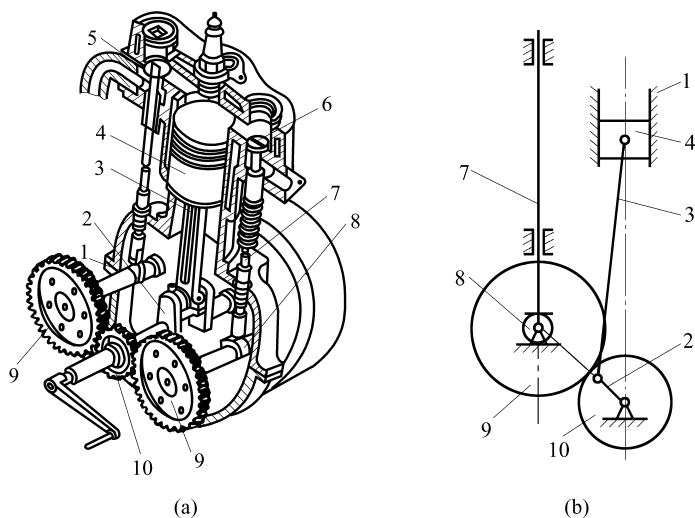


图 1-2 单缸内燃机

1—汽缸体；2—曲柄；3—连杆；4—活塞；5—进气阀；6—排气阀；

7—推杆；8—凸轮；9,10—齿轮

为汽缸盖,在汽缸盖上有进气通道和排气通道,以及进气阀 5 和排气阀 6(进气阀和排气阀中间的活塞上方装有喷油器);活塞中部装有活塞销,通过它与连杆 3 的上部相接,连杆下部连接曲轴 2(曲柄),通过曲轴末端的飞轮输出功率;曲轴上安装齿轮 10,通过齿轮 9 驱动与其同轴的凸轮 8,控制推杆 7 定时开闭阀门以吸入燃气和排出废气。

(2) 单缸内燃机的工作原理。内燃机是利用燃料在汽缸内燃烧产生的热能,通过气体受热膨胀推动活塞移动,再经过连杆传递到曲轴使其旋转做功。

第一冲程 当活塞从下止点向上止点运动时,活塞起着上挤下吸的作用。在运动中活塞关闭了换气孔和排气孔,在活塞的上部使进入汽缸内的混合气受到压缩。当活塞继续上升,活塞的下部将进气孔打开时,开始吸气,由于曲轴箱的容积不断增加,产生吸力,化油器中的可燃混合气便被吸入曲轴箱。

第二冲程 当活塞接近上止点时,火花塞点燃被压缩的可燃混合气,活塞起着上推下压作用。在活塞上方燃气膨胀产生的压力使活塞向下移动而做功。当活塞继续向下移动时,在活塞的下方首先关闭气孔,使曲轴箱内的可燃混合气受到挤压,当继续向下移动时,排气孔被打开,汽缸中的废气受到燃气压力的作用自行排出。当活塞再向下移动时,换气孔被打开,曲轴箱内受挤压的可燃气体经换气孔进入汽缸,并帮助驱扫废气。该扫气过程实际上是排气和进气两个工作过程的结合,一直到活塞经过下止点后,再向上运动将换气孔和排气孔封闭后才结束。

内燃机在实际工作时,由热能到机械能的转变是无数次的连续转变。而每次能量转变,都必须经历进气、压缩、做功和排气 4 个过程。每进行一次进气、压缩、做功和排气叫做一个工作循环。若曲轴每转两圈,活塞经过 4 个冲程完成一个工作循环的叫做四冲程内燃机;若曲轴每转一圈,活塞只经过两个冲程就完成一个工作循环的叫做二冲程内燃机。二冲程汽油机没有一个单独的进气和排气冲程,进气和排气过程分别是与压缩和做功的过程同时进

行的。

能力训练案例 1-2 试分析滚筒式绘图仪的组成和工作原理。

解：绘图仪是将计算机的输出信息自动绘制图形的信息机械。图 1-3 所示的滚筒式绘图仪结构紧凑，绘图幅面大。

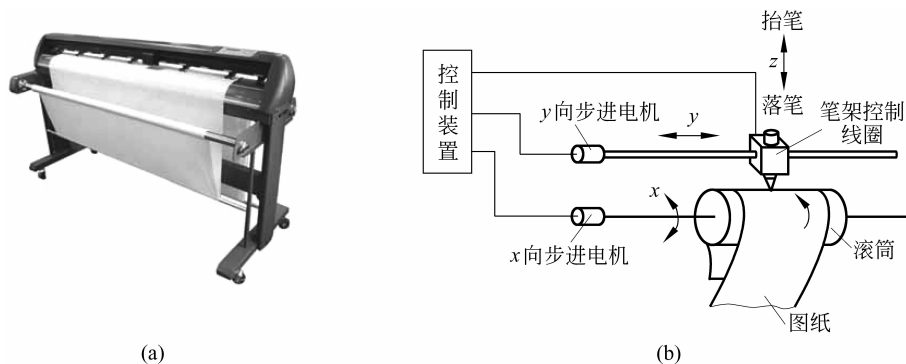


图 1-3 滚筒式绘图仪

(a) 滚筒式绘图仪外形；(b) 滚筒式绘图仪工作原理

(1) 绘图仪的组成。一般由驱动电机、插补器、控制电路、绘图台、笔架、机械传动等部分组成。绘图仪除了必要的硬件设备之外，还必须配备丰富的绘图软件（包括基本软件和应用软件两种）。只有软件与硬件结合起来，才能实现自动绘图。

(2) 绘图仪的工作原理。绘图仪工作时，首先读入计算机输出的图形数据，经过信息处理，然后由插补器发出一系列 x 、 y 方向的脉冲，经过放大驱动伺服系统和机械传动系统。当 x 向步进电机通过传动机构驱动滚筒转动时，链轮就带动图纸移动，从而实现 x 方向的运动； y 方向的运动，是由 y 向步进电机驱动笔架来实现的，最后通过画笔画出图形。

1.1.2 机械设计发展概述

机械设计是人类在长期的生产实践中一项重要的创造活动，机械化是社会生产率发展水平的重要标志。从人类在古代使用的杠杆、楔、滚子、绳轮和凸轮等简单工具，以及指南车、候风地动仪、纺织机和蒸汽机等许多机械，经过 18 世纪的第一次工业革命、计算机发明和当今世界以知识经济为特征的产业革命的推动，发展到现代的数控机床、人造卫星和火星探测仪等高新技术产品。与传统的机械相比，现代机械产品在工作原理、结构、性能和设计方法上都发生了深刻的变化，其显著特征是以计算机技术为支撑的信息处理、控制手段和设计方法在机械设计中获得了广泛应用。

机械产品从需求到满足要求，要经过设计、制造、销售、售后服务和改进设计等许多环节，其中设计是最基本的环节。机械设计是根据使用要求，对机械的工作原理、系统组成、运动和力的特性、零部件的材料和结构尺寸、装配和润滑等众多相关因素，在理论、技术、工艺和计算手段等各种限定的条件之下，进行分析、计算、构思、评价和决策，获得一个技术经济指标优良的设计方案，并且为机械制造提供依据。工厂就是依据产品设计过程中确定的所需材料、制造工艺、精度和技术条件，并且根据工厂的现有资源组织生产的。

机械产品设计的经济意义在于,它的质量、性能和成本,在很大程度上取决于设计阶段的工作。据统计,产品制造成本的 $1/3$ 以上是由设计阶段决定的;另一方面,在产品设计阶段的某些错误,会造成产品制造成本和运行成本的显著增加。

根据机械的功用不同,可以将它们分为进行能量变换的动力机械(如内燃机、电动机、发电机、压气机和涡轮机等)、完成机械功的工作机械(如金属切削机床、飞机、汽车、包装机、起重机、运输机和机械手等)和进行信息传递和变换的信息机械(如打印机、绘图机、复印机、照相机和放映机等)。

从机械系统的整体来看,根据不同的产业技术,形成了不同的产业机械设计分支学科,如汽车设计、飞机设计、船舶设计、机车设计、内燃机设计、农业机械设计、纺织机械设计和信息机械设计等。但是,这些专业设计中有许多是共性技术,如机械整体方案的拟定、机构的运动分析和综合,零部件的动力性能和承载能力计算,以及它们的材料、结构、润滑、密封、工艺性和标准化的确定等,都是机械设计的基础内容。

由于现代产品对自身的功能、可靠性、效益等提出了更为严格的要求,新兴技术对机械产品的渗透和应用,使现代机械产品正在朝着机械—电子—信息一体化技术方向发展。

随着现代科学技术和应用数学的飞跃发展,许多新的设计思想、方法和手段,如设计方法学、计算机辅助设计、优化设计、有限元、可靠性设计、反求工程等,促进了机械设计的革新和发展。随着科技的进步、试验手段的加强,设计水平发展很快。纵观整个机械的设计发展过程,设计从宏观走向微观,从静态走向动态,从单目标设计走向多目标综合设计。

机械设计的水平与整个工业的发展水平是相互制约和相互影响的,没有高水平的机械设计和机械制造技术,就没有高水平的机械工业和相关工业。同样,没有先进的电子工业、微电子工业和材料工业等,新的材料技术、能源技术、信息技术和体现这些技术群体的现代设计方法就不可能在机械设计中得到应用。

1.1.3 本课程的内容、基本要求和学习特点

“机械设计基础”是高等职业技术教育制造类专业中的核心课程,是学生必备的专业知识。机械设计基础是以一般机械中的常用机构和通用零件为研究对象,分析它们的工作原理、运动特性、结构形式以及设计和计算方法。本课程的基本任务是使学生掌握常用机构和通用机械零件的工作原理、结构特点、应用场合、技术规范、选用和设计等基本知识 with 基本理论,掌握相应的计算、使用技术资料、计算机辅助设计和绘图等基本技能,初步具有设计和选用通用机械零部件和简单机械传动装置,以及分析生产实际中常用机构工作特性、通用机械零件失效以及结构方面问题的能力,为学习后续专业课程,进行技能实训和学习新的科学技术中有关机械的内容打下基础。同时,适当了解计算机技术在有关方面的应用,以体现高等职业技术教育注重培养学生有比较强的计算机应用能力,适应以计算机技术广泛应用为突出特点的现代技术集成化,从而带来知识集成化的趋势。

机械设计基础课程的开发要强调适当综合化和适当实施化。本书按照课程内容本身的内在规律和模块教学要求,建立“机械设计概论和机构结构”、“常用机构”、“机械传动”、“轴系零部件”和“机械连接”5个模块。其中,第1篇主要介绍机械设计概论和平面机构的结构分析,是机械设计的共性基础知识;第2篇主要介绍以传递运动为主的一些常用机构(如平面连杆机构、凸轮机构、轮系、间隙运动机构和组合机构等)的工作原理、结构和应用;第3篇

主要介绍以传递动力为主的机械传动(如带传动、链传动、齿轮传动和蜗杆传动等)的工作原理、标准规范和设计方法;第4篇主要介绍轴系(包括滑动轴承、滚动轴承、轴系和联轴器、离合器和制动器等主要零部件)的工作原理、组合设计和选用计算;第5篇主要介绍螺纹、键和销钉连接,以及弹簧的工作原理、结构规范和选用计算。在教学内容上,将课程中以理论教学为主的内容,转变为以实践教学为主的内容;在课程教学安排上,突出教学的能力目标,将课程中以理论体系传授教学为主的教学,转变为以专业运作能力训练为主的教学。学生应当具有“必需”、“够用”和相对宽而浅的知识结构,能够依托专业基本理论和实践技能,具备向相关专业渗透和连接的实践能力,表现在掌握丰富的与相关专业的“接口”能力上。

1.2 机械设计过程

机械设计就是根据客观的需求,从机械的功能结构出发,借助已有的各种信息资源,通过人们创造性的思维和实践活动,对机械系统及其零部件的参数和具体结构进行决策,在满足各种约束的条件下,以获得尽可能最佳的设计方案。

机械设计过程是指从明确设计任务到编制技术文件所进行的整个设计流程,它包括产品规划、原理方案设计、结构和技术方案设计、评估与决策4个阶段。

(1) 产品规划阶段:在市场调查的基础上,对产品进行可行性分析,确定产品开发计划的初步方案,明确机械设计任务,提出设计任务书。

(2) 原理方案设计阶段:根据设计任务书,对产品进行技术调查,分析产品的功能需求,参考和比较同类机械的功能原理、运动方案、性能参数等技术资料,通过创新构思和分析比较,对多种可能性的功能原理方案进行优化筛选,对产品的功能原理方案作出决策,并且初步拟定机械运动方案简图。

(3) 结构和技术方案设计阶段:根据机械运动简图,提出合理的结构设计方案,完成产品的总体结构设计、部件和零件设计以及全部生产图纸,编制设计说明书等有关技术文件。在技术方案设计过程中,需要确定部件和零件的制造材料和工艺、配合关系,进行载荷和动力分析、强度、刚度和热平衡等的计算。

(4) 评估与决策阶段:在完成产品基本设计的基础上,根据设计任务书,拟定评价标准和指标体系,对设计方案进行评估、审查和决策,以进一步完善和改进,提高产品的实用性能、可靠性和经济性。

能力训练案例 1-3 试分析自行车的功能结构和设计思路。

解:(1) 自行车产品发展概况。自世界上第一辆自行车问世至今已有200多年的历史了。18世纪末,法国人西夫拉克发明了最早的木制自行车,其结构比较简单,既没有驱动装置,也没有转向装置,骑车人靠双脚用力蹬地前行,改变方向时也只能下车搬动车子。1817年,德国人德莱斯在法国巴黎发明了世界上第一批真正实用型的带车把的木制两轮自行车,它虽然仍旧用脚蹬才能前行,但是可以一边前行一边改变方向。在20世纪,自行车在中国获得了前所未有的普及和发展。现在中国的自行车产量、消费量、出口量均居世界第一。中国老百姓拥有5亿多辆自行车,年出口达到2000多万辆。从某种意义上来说,中国是一个自行车的王国。

自行车是一种简单的应用广泛的机器,它将输入系统的能量(人力)和信息进行转换和传递,实现代步的功能。按照自行车的用途分类,有一般代步用的自行车、健身锻炼用的自行车和特殊用途的自行车等,如山地车、变速车、高档赛车、电力自行车等。自行车从单一的实用功能衍变出娱乐功能和健身功能,产品渗透了审美、健康和环保的观念。

(2) 自行车的功能结构分析。如图 1-4 所示,自行车将输入的人力动力源转换为机械能,再通过能量的传递,驱动车轮旋转。车把、前叉、前轴、前轮等部件组成自行车的转向系统,闸把、钢丝绳和闸皮等部件组成自行车的制动系统,乘骑者可以通过操纵车把来改变行驶方向并保持车身平衡。自行车的运动方向和制动,是由乘骑者眼睛观察和大脑反馈信息,通过双手控制车把和车闸来实现的。脚蹬、中轴、链轮、曲柄、链条、超越棘轮机构、后轴、后轮等部件组成自行车的驱动(传动或行走)系统,乘骑者靠脚的蹬力通过驱动系统使自行车不断前进。车架对车轮、车把和车闸等起支承和连接作用。此外,还有鞍座、车铃、后座、前后挡泥板、支架、车灯、车锁、打气筒等附属部件。因此,自行车的主要功能结构分为能量转换、传动装置、工作机构、控制系统、支承与连接等功能部件。

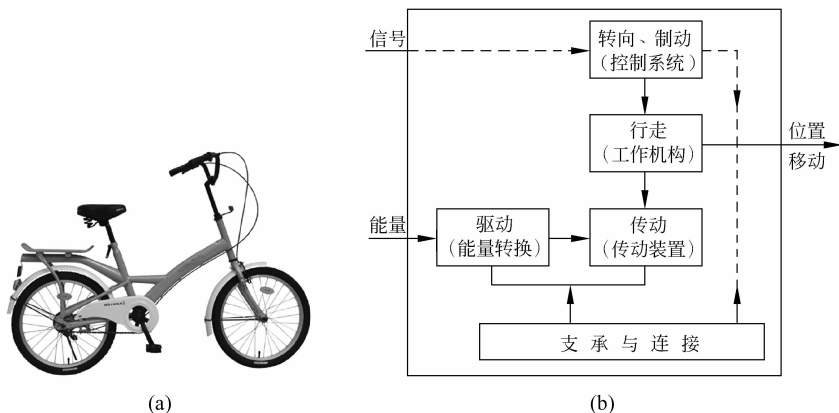


图 1-4 自行车的外形和功能结构

(a) 自行车外形图; (b) 自行车的功能结构

(3) 对自行车产品的结构设计和机械设计。根据确定的自行车功能原理方案,绘制出其机械运动简图。再根据自行车的机构运动简图,对其进行总体结构设计,确定各个功能部件的结构方案。例如,乘骑者的人力能量通过回转踏板输入;采用后轮驱动方式;由于踏板轴距离后轮轴较远,踏板中轴与后轮轴之间采用链传动;为了使自行车承受负重,有良好的缓冲、弹性和对地面的摩擦性,尽量减轻车重,车轮采用了钢圈辐条和充气橡胶轮胎结构,在外胎表面制作了凹凸不平的花纹以增大摩擦。此外,车的坐垫下安有许多根弹簧,以利用它的缓冲作用减小振动。坐垫呈马鞍形,它能够增大坐垫与人体的接触面积以减小臀部所受压强,使人骑车不易感到疲劳等。接着,对自行车的各个部件和零件进行设计计算,绘制自行车装配总图、全部部件和零件生产图纸,编制设计说明书等各种技术文件。

(4) 评价和决策。对自行车产品设计方案完善程度和实现预定功能的可靠性等方面,进行系统的技术、经济和社会的评价和决策。

1.3 功能原理设计

机械产品的用途或具有的特定工作能力,称为机械产品的功能。功能原理设计实质上是原理方案的拟定和构思过程。从控制论的观点来看,世界由物质、能量和信息三大要素所组成。在机械设计构思产品技术系统的功能方案之前,将其内部结构作黑箱处理。功能原理设计的任务,就是确定输入技术系统的物质、能量和信息等要素后,在外界环境的交互作用下,技术系统对这些要素进行预定的变换、传递和储存,输出具有所需特性的要素,实现其特定的用途或工作能力。因此,机械产品的功能就是其所具有的转化物质、能量和信息的特性。

1.3.1 功能原理设计的特点

任何一种机械产品的更新换代都要通过以下 3 个途径:改革工作原理;改进工艺和结构以提高技术性能;增强辅助功能以适应使用者的需要。因此,功能原理设计的显著特点是以新的物理效应取代旧的物理效应,在设计中引入新技术、新材料、新工艺和新结构等,使机械产品的工作原理和品质发生根本的变化。例如,由于液晶、石英材料和新工艺的应用,以及机电技术的结合,石英电子表从计时原理、走时准确、美观实用、功能丰富等方面根本上革新了传统的机械式手表。

功能原理设计的主要内容是构思实现功能目标的原理解法,其主要步骤是:明确功能目标,寻找效应和进行创新构思;基于原理解法和结构设计,通过模型试验进行技术分析,验证原理上的可行性;改进和完善解法原理;通过技术经济的评价,最终从多个可行解法中选择一个满意的原理解法。

1.3.2 功能分析

由于机械产品的功能一般都比较复杂,因此往往采用系统分解的原理,将总功能分解为多个比较简单的功能元。机械产品的总功能与各级功能元的关系如同功能树,它的上级功能是下级功能的目的功能,而下级功能是上级功能的手段功能。

所谓的功能元,是指将机械系统中的复杂动作分解为一些基本动作,如运动的放大和缩小、运动方向变换和运动形式转换、运动轴线变向、运动的合成和分解、运动脱离和连接等。有时根据需要,也可以分解为既有一定独立性,又有一定复杂程度的技术单元。

如图 1-5 所示的自动装配机构中,阶梯轴由振动筒料斗(振动筒料斗没有画出)输出,经过输料槽送入弹簧夹爪中;塑料套筒由振动筒料斗输出,经过料仓及水平滑块推入分布在装配夹具圆周的槽穴中。汽缸中的活塞驱动垂直滑块及压杆,推动弹簧夹爪中的阶梯轴压配到塑料套筒上(此时输料槽中的后续阶梯轴被压杆阻隔在输料槽下端);同时,垂直滑块推动卸料杆将已经装配好的组件从转位夹具的下面推出。槽轮机构用于实现装配夹具的自动转位,凸轮机构用于整个机械系统运动的协调。因此,自动装配机构可以分解为阶梯轴自动定向送料、塑料套筒自动定向送料、塑料套筒压入阶梯轴与卸料、装配夹具转位和系统运动协调控制等几个功能单元。

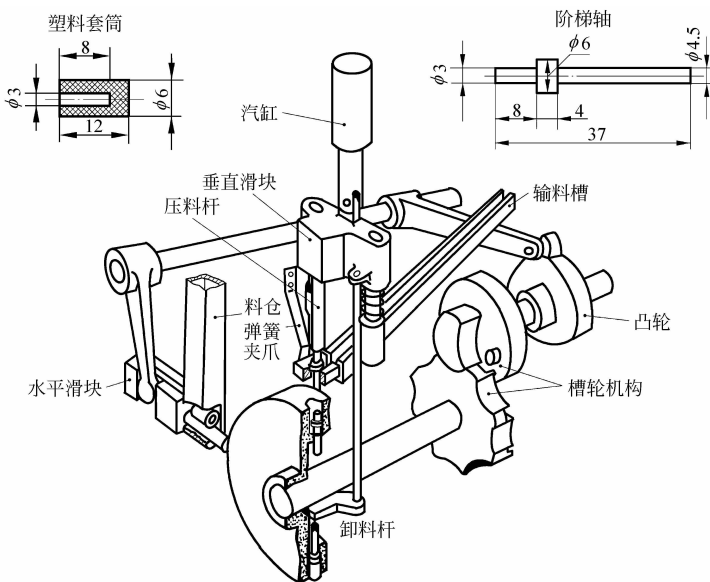


图 1-5 自动装配机构

1.3.3 功能类型和求解思路

求解功能元是功能原理设计中的关键步骤。机械系统中的功能类型和相应的求解思路可以分为 5 类。

1. 简单动作功能

该功能在结构上利用很少构件实现简单而巧妙的动作，一般采用几何形体组合法求解，如图 1-6 所示。

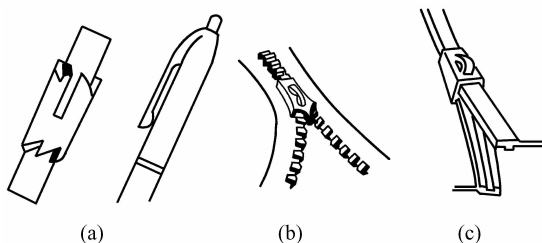


图 1-6 用几何形体组合法实现简单动作功能

(a) 圆珠笔双动按钮；(b) 传统形式的拉锁；(c) 新形式的拉锁

2. 复杂动作功能

以基本机构组合法为基础，来求解实现运动、动力和轨迹方面的功能。如图 1-7(a)所示的缝纫机机头采用曲柄连杆式引线机构，使曲柄的等速旋转运动，通过连杆变换为针杆的近似正弦速度规律运动。图 1-7(b)所示为机针运动线图。

3. 综合技术功能

采用物理效应引入法，综合运用机、电、光、液、气等技术实现纯机械方式难以实现的功

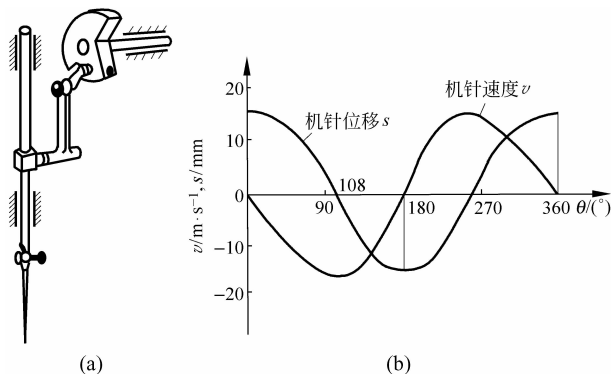


图 1-7 用基本机构组合法实现复杂动作功能

能。广义的物理效应包括机构运动学和力学方面的物理效应,还包括热胀冷缩、电磁效应、光电效应、液体效应等。例如,机械表是应用机械游丝的振动原理;电子表和石英钟利用石英晶片固有的压电效应特性,在石英晶片的极板上加上交变频率与石英晶片固有频率相等的交流电场时,就会产生稳定的压电共振。因此,通过引入电磁效应,用石英晶体振荡器控制电磁摆来代替机械游丝,可以创造出精度极高的电子表和石英钟。

4. 关键技术功能

在通常材料、结构和工艺等约束条件下,机器中一些关键性的重要技术问题,存在用一般的技术措施难以解决的技术矛盾。因而可以采用技术矛盾分析法,应用特殊材料、特殊工艺或特殊结构,实现机器中重要的技术性能。例如,数控机床工作台的精密定位和精密进给精度达到 0.02 mm 甚至更高,这就必须使传动丝杠与工作台导轨之间的摩擦阻力很小,而普通机床的滑动丝杠和导轨不能满足这个要求。因此,高效率、高精度、高刚性、可以实现微进给与高速进给的滚珠丝杠和静压导轨成了工作台传动定位的关键技术。

5. 工艺功能

许多机器执行机构的工作头(如挖掘机的铲斗、缝纫机的机针、机床的刀具等)与工作对象之间处理过程的功能,称为工艺功能。该功能的特点包括加工工艺和工作头的形状与动作这两个因素,它们之间是密切相关的。一般采用物-场分析法求解工艺功能问题,其基本模式是:主体(工作头)→作用场→客体(工作对象),即根据工作对象和加工工艺的特点,寻找作用于工作对象的合理工作头和广义的作用场(包括力、运动、电、光、热、磁等物理场)。

以上有针对性的 5 种功能类型求解思路,在实际应用时是可以互相借用、融合和启发的。

能力训练案例 1-4 试分析台式摇头电风扇(图 1-8)的功能结构和实现思路。

解: (1) 电风扇功能分析。风扇的功能是改善环境的温度和湿度状况,加速空气流通或室内外空气的交换。台式摇头电风扇的功能为实现吹风功能(扇叶的回转运动)和摇头功能(风扇头部的转向运动)。

(2) 台式电风扇的功能实现。电风扇的扇叶回转运动可以由安装在扇头的交流电动机直接带动。

电风扇摇头是较复杂动作功能,可以用基本机构组合法来求解。如图 1-8(b)所示,电风扇掀拔式摇头机构主要由掀式按钮、安装在齿轮箱中的弹簧、钢珠和啮合轴、转子轴(蜗杆)、蜗轮(与啮合轴同轴)、大齿轮和摇摆连杆等组成。其中,掀式按钮用螺钉固定在啮合轴

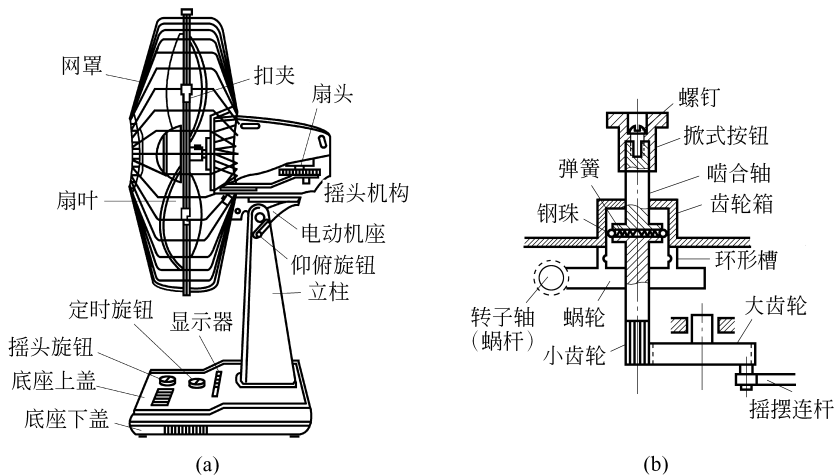


图 1-8 台式摇头电风扇

(a) 台式电风扇外形; (b) 摇头机构

上端,电动机通过转子轴(蜗杆)带动蜗轮旋转,小齿轮与啮合轴制成一体,蜗轮空套在啮合轴上。

需要摇头时,按下掀式按钮,啮合轴下移,啮合轴中部的两颗钢珠落入蜗轮内周的环形槽内定位,风扇电动机通过转子轴(蜗杆)带动蜗轮转动,蜗轮通过钢珠带动啮合轴旋转,啮合轴又通过齿轮传动带动摇摆连杆运动,从而使电风扇摇头。

不需要摇头时,向上拔起掀式按钮,啮合轴上移,啮合轴中部的两颗钢珠与蜗轮的环形槽脱离,此时蜗轮空转,啮合轴不旋转,电风扇不摇头。

能力训练案例 1-5 试设计一便携式剪草机,完成在草地上剪草任务的工艺功能。

解: (1) 剪草机工艺功能分析。剪草机在草地上剪草,草地上的草是客体,需要寻找各种可能利用的作用场。

拉力——可以拉断草,但是无法控制断草高度,加工后草地不整齐。

割断力——像农民割草,需要抓住草的上部才能加工。

剪断力——利用剪刀刃合拢切断草。

分析和比较以上几种作用场,采用剪断力较好。因此,主体应该是剪刀,可以像理发推子那样进行工作。

(2) 讨论。根据杂技演员利用鞭子可以将报纸抽断的现象,可以启示到即使不用刀,用某些高速的软工具也可以切断某些物体。因此,可以将上述剪草的客体转换成尼龙线,利用它高速旋转的“抽击力”为作用场,能够产生更好的剪草效果,如图 1-9 所示。

综上所述,功能分析是机械设计的基本出发点。进行机械产品的设计,首先必须进行功能分析,明确功能要求,绘制出机械的功能结构图,然后进入各个阶段的设计。这样才能不受现有机机械系统和结构的束缚,产生新的设计构思,提出创新设计方案。

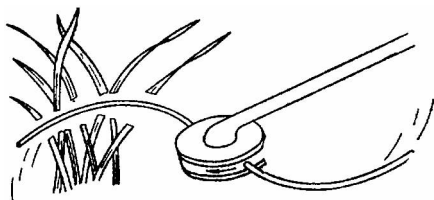


图 1-9 新型割草机

1.4 机械设计约束

机械设计的本质是在经济、社会和技术等方面的约束边界限定的设计空间内,寻找满足预定功能和性能要求的合格或最佳的机械产品设计方案。

在设计空间内部,按照机械产品设计所要遵循的各个主要阶段,使设计方案转化为“硬件”以满足要求,其中涉及的是实现总功能和主要要求的核心技术。不同类型的机械有不同的核心技术。例如,对于以能量转换为主的动力机械,其主要性能指标是热效率;对于要完成各种复杂灵巧动作的轻工机械,其主要性能指标是生产率,即要求机械能够有节奏地和可靠地工作,自动化程度高;对于以信号传递和转化为为主的仪器,其主要性能指标是灵敏度、精度和稳定性,等等。

在设计空间外部,由产品功能、性能、技术经济指标、承载能力、制造工艺和技术要求等限制条件提出的设计要求和应用技术方法,构成了设计空间的约束面。

1.4.1 承载能力约束

机械零部件在载荷作用下,如果出现本体失效(如齿轮轮齿断裂、螺栓被拉断、机床主轴产生过大的弹性变形等)、表面失效(如齿轮轮齿表面疲劳或过度磨损、螺栓连接松脱、带传动中带与轮之间产生打滑等)或正常工作条件的破坏(如高速机械发生共振、液体润滑状态时的油膜发生破裂等),就会丧失正常的工作能力。为了防止机械零部件在正常的工作条件下过早地产生失效,应该建立如下基本的承载能力约束。

1. 强度约束

强度约束条件是指零部件在载荷作用下危险截面上的最大工作应力不超过许用应力。

载荷按照随时间变化的特性分为静载荷和变载荷,与载荷相对应的应力类型有静应力和交变应力(又分为非对称循环、脉动循环和对称循环几种),如图 1-10 所示。

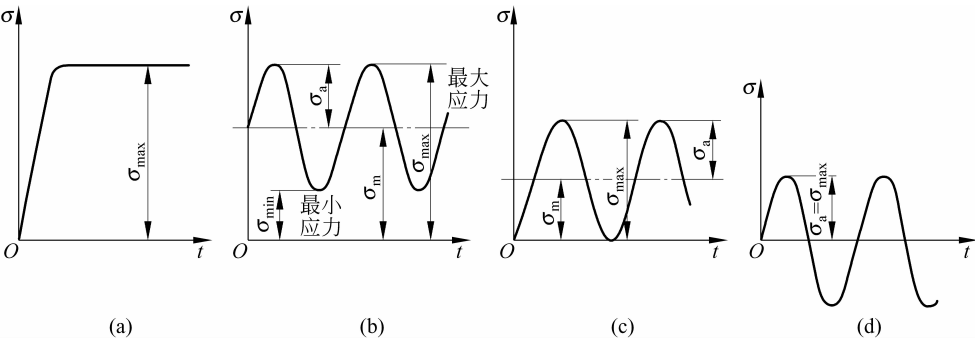


图 1-10 应力的类型

(a) 静应力; (b) 非对称循环应力; (c) 脉动循环应力; (d) 对称循环应力

	静应力	非对称循环应力	脉动循环应力	对称循环应力
平均应力	$\sigma_m = \sigma_{\max} = \sigma_{\min}$	$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$	$\sigma_m = \sigma_a = \frac{\sigma_{\max}}{2}$	$\sigma_m = 0$
应力幅	$\sigma_a = 0$	$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$	$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{\max}}{2}$	$\sigma_a = \sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$
循环特征	$r = +1$	$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$	$r = 0$	$r = -1$

在相同的工作条件下,材料抵抗静载荷的能力最高,抵抗脉动循环载荷的能力次之,抵抗对称循环载荷的能力最低。例如,用强度极限 $\sigma_b = 600 \text{ MPa}$ 的 45 钢制成的转轴,其在静应力、脉动循环应力和对称循环应力时的许用弯曲应力分别是 $[\sigma_{+1}]_w = 200 \text{ MPa}$, $[\sigma_0]_w = 95 \text{ MPa}$ 和 $[\sigma_{-1}]_w = 55 \text{ MPa}$ 。

(1) 静应力时的强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S_\sigma} \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{S_\tau} \quad (1-1)$$

式中, σ, τ 分别是工作正应力和工作剪应力; $[\sigma], [\tau]$ 是许用应力; $\sigma_{\text{lim}}, \tau_{\text{lim}}$ 是材料的极限应力,对塑性材料取其屈服极限 (σ_s, τ_s) 作为极限应力,对脆性材料取其强度极限 (σ_b, τ_b) 作为极限应力; S_σ, S_τ 是安全系数。

(2) 在弯曲和扭转复合的交变载荷作用下,对于塑性材料常用第三强度理论计算,并且要考虑弯曲和扭转的循环特征可能造成的不同影响。危险截面上的当量应力为

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{W} \leq [\sigma]_w \quad (1-2)$$

式中, M 是弯矩; T 是扭矩; W 是构件截面抗弯系数; α 是考虑扭矩循环特征与弯矩不同时的折合系数; $[\sigma]_w$ 是许用弯曲应力,按照弯矩的循环特征取值。

适当增大构件的尺寸,确定构件合理的结构,选用高强度的材料,并采用热处理(包括化学热处理和表面强化处理)改善材料的力学性能,提高构件的制造精度,减少动载荷等,都有助于提高构件的强度。

2. 接触强度约束

对于相互是点或线接触的构件表面(如凸轮轮廓与从动件、齿轮副齿廓、滚动轴承的滚动体与套圈滚道等)工作时,由于载荷作用而在接触部位产生微小的弹性变形,形成面接触。为了防止两个作滚滑接触的构件产生接触疲劳失效,其接触表面在载荷作用下产生的循环交变最大接触应力 σ_H 不允许超过构件的许用接触应力 $[\sigma_H]$ 。如图 1-11 所示,两个圆柱体相压时的最大接触应力,可以按照弹性力学中的赫兹(H. Hertz)公式进行计算:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{1}{\pi \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)} \frac{F_n}{b\rho}} \leq [\sigma_H] \text{ (MPa)} \quad (1-3)$$

式中, F_n 是两个圆柱体相压的法向载荷, N; b 是两个圆柱体的接触宽度, mm; E_1, E_2 分别是两个圆柱体材料的弹性模量, MPa; μ_1, μ_2 分别是两个圆柱体材料的泊松比; $[\sigma_H]$ 是两个圆柱体材料的许用接触应力, MPa; $\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_2 \pm \rho_1}$ 是综合曲率半径, mm, ρ_1, ρ_2 分别是两个圆柱体的曲率半径, “+”用于外接触(图 1-11(b)), “-”用于内接触(图 1-11(c))。

对于常用的钢材,其材料力学性能常数是:弹性模量 $E = 2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$ 和泊松比 $\mu = 0.3$, 则赫兹公式中与圆柱副的材料力学性能有关的弹性系数为

$$Z_E = \sqrt{\frac{1}{\pi \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi \left(\frac{1-0.3^2}{2.06 \times 10^5} \right)}} = 189.8 \quad (1-4)$$

代入式(1-3),得到接触强度的简化计算式为

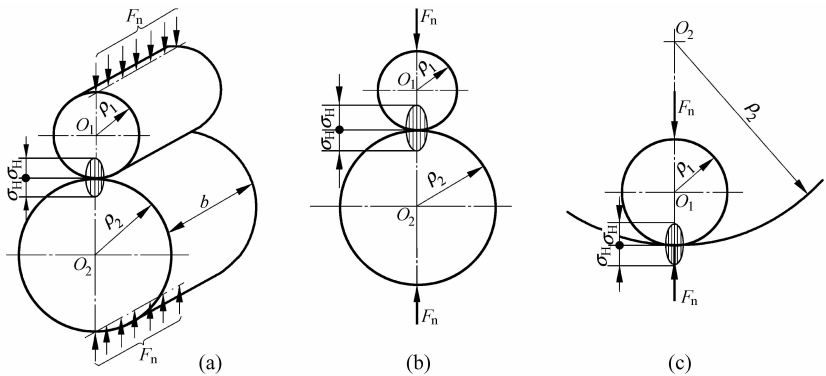


图 1-11 两个圆柱体的接触应力

$$\sigma_H = Z_E \sqrt{\frac{F_n}{b\rho}} = 189.8 \sqrt{\frac{F_n}{b\rho}} \leq [\sigma_H] (\text{MPa}) \tag{1-5}$$

提高构件接触表面的硬度,改善表面加工质量,增大接触表面的综合曲率半径和接触宽度等,均可以提高构件的接触疲劳强度。

3. 刚度约束

如图 1-12 所示,要求构件在载荷作用下产生的弹性变形(如挠度 y 、转角 θ 或扭角 φ 等)不超过许用值。例如,对一般用途的轴,最大挠度 y 不允许超过其支承跨距 L 的 $0.03\% \sim 0.05\%$,即

$$y \leq [y] = (0.0003 \sim 0.0005)L (\text{mm}) \tag{1-6}$$

以及扭角 φ 不允许超过许用扭角 $[\varphi] = 0.5 \sim 1(^{\circ})/\text{m}$,即

$$\varphi \leq [\varphi] = 0.5 \sim 1(^{\circ})/\text{m} \tag{1-7}$$

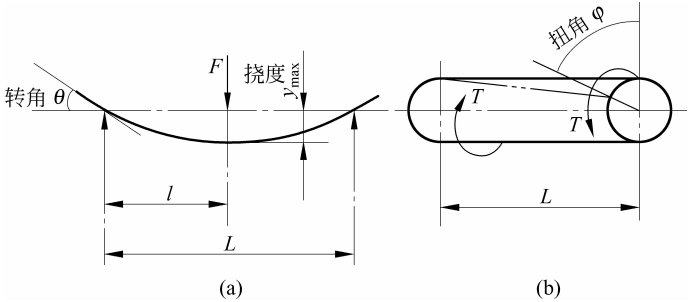


图 1-12 构件的弯曲和扭转变形

(a) 弯曲; (b) 扭转

提高构件的刚度,有利于保证它的强度,同时提高构件的振动稳定性。

采用弹性模量大的材料,增加辅助支承,减少构件的跨度,选择合理的截面形状,采用加强筋等,均可以提高构件的刚度。

4. 耐磨性约束

磨损是由于表面的相对运动使工作表面的物质不断损失的现象,它是机械设备失效的重要原因。耐磨性是指零件抵抗磨损的能力。磨损的损伤机理和表现形式非常复杂,其中

主要的影响因素包括零件表面接触应力或压强的大小、相对滑动速度、摩擦副材料和表面的润滑情况等。在机械设计中,对于通用机械零件的耐磨性约束计算通常采用条件性的计算方法,控制摩擦表面的压强(或接触应力)、相对速度等不超过许用值。

减少磨损的方法主要有:选择合适的润滑剂和润滑方法;正确选择材料及其耐磨相容性;采用表面热处理和化学热处理改善构件表面的耐磨性;提高加工精度和表面质量;将相对滑动摩擦方式改变成滚动摩擦;进行合理的结构设计,以利于散热、表面膜保护和次要构件的磨损置换;改善工作条件和正确使用与维护,等等。

1.4.2 技术性能约束

技术性能是指产品在运行状况中体现出来的静态性能和动态性能。技术性能约束是限制相关的技术性能必须达到规定的要求。

1. 振动稳定性约束

机械及其安装基础组成一个弹性系统,在一定的条件下,它会发生周期性弹性变形,在平衡位置作往复循环性机械振动,产生额外的动载荷和变应力。当作用在机械上周期性外力的变化频率接近或等于机械系统的固有频率(即自激振动频率)时,将发生共振现象。这时,振动幅度急剧增大,导致零件和整个机械系统的损坏,还会产生较大的噪声污染。

引起构件振动的周期性外力有往复运动产生的惯性力、摆动构件产生的惯性力矩、转动构件的不平衡质量引起的离心力、周期性作用的外力等。

振动稳定性约束是限制机械系统或构件的相关振动参数(如固有频率、振幅和噪声等)在规定的允许范围以内。为了减少噪声,可以采用降低激振力的措施,如减免运动部件的冲击和碰撞,提高运动部件的平衡精度,用连续运动代替间歇运动,降低运动件的质量和速度,以及采取一些必要的隔声、吸声和消声等措施。

2. 热特性约束

机器在工作的时候会发热,由此产生热应力和热应变,可能造成机器的工作性能下降和热损坏。热特性约束就是限制各种相关的热参数(如热应力、热应变、温升等)在规定的允许范围以内。

例如,蜗杆传动效率较低,滑动速度较大,容易因为发热产生齿面胶合和磨损破坏。为了避免胶合和减缓磨损,蜗杆传动的材料必须具备减摩、耐磨和抗胶合的性能。一般蜗杆用碳钢或合金钢制成,螺旋表面应经淬火和渗碳处理,以便达到较高的硬度(45~63HRC),然后经过磨削或珩磨以提高传动的承载能力。蜗轮多数用青铜制造,为了防止胶合和减缓磨损,常选用含有抗胶合添加剂的润滑油。闭式蜗杆传动的齿面接触应力是引起齿面胶合和磨损的重要因素,因此对强度较弱的蜗轮进行齿面接触强度计算,来确定蜗杆传动的基本参数。另外还应进行热平衡计算,防止润滑油温升超过许用值。如果热平衡计算不能满足要求,则在箱体外侧加设散热片或采用强制冷却装置。

3. 可靠性约束

在常规的机械设计中,将载荷、材料性能和加工尺寸等视为一个确定量,构件只要满足计算准则(如 $\sigma \leq [\sigma]$)就是安全的,能够在规定的工作条件下和规定的使用期限内实现预定的功能。实际上,由于载荷、材料性能和加工尺寸都存在离散性,构件在规定的工作条件下,有可能达不到规定的使用期限而失效。因此,对于重要的和大型的机械设备,必须提出在设

计时将这种先期失效的概率限制在一定的限度之内,即对机械零部件和机械系统提出可靠性要求。

可靠性是机械设计中一项重要的技术质量指标,是指产品、部件或零件在规定的使用条件下,在预期的寿命内能完成预定功能的概率。可靠性约束是指产品、部件或零件应能满足规定的可靠性要求。例如,滚动轴承的承载能力和工作寿命是在可靠度为90%时定义的。

1.4.3 标准化约束

标准化是指在进行机械产品设计的全过程中,都要遵循现行的国家标准、部标准和企业标准,有利于提高生产技术水平和管理水平。标准化约束是指在以下4个方面都要满足标准化要求:

(1) 概念标准化。包括名词、术语、符号、计量单位等应符合规范。

(2) 实物形态标准化。包括产品、零部件、原材料、设备及能源的结构形式、尺寸、性能等都要按照标准进行选用和设计。

(3) 技术标准化。与生产技术有关的操作、测量、试验、检验、成本核算和管理等方法,都应该按照规定实施。

(4) 技术文件标准化。包括产品设计过程中形成的可行性研究报告、试验报告、图纸、设计任务书、设计说明书和工艺规程等,都应该按照规定执行。

1.4.4 产品成本约束

产品的经济性体现在产品设计、制造、使用、维护以至报废的全生命周期中,它的核心就是产品成本。产品成本包括3项费用:原材料、燃料与动力等费用;固定资产折旧费;工资和利税。其中,前两项费用是生产资料转移的价值,工资和利税是劳动者创造的价值。产品成本约束是指在产品价值(价格)不变的情况下,较低的产品成本,可以提高利润,使企业获得更好的效益。

在机械设计中降低产品成本的主要途径有:

(1) 在产品功能方面,着重保证产品中用户所需要的必要功能,去掉用户不需要的功能和过剩的功能(如过大的安全系数、过分采用贵重的原材料、过高的制造精度和寿命指标、系统中各零部件的寿命不均衡、不必要的表面过分装饰等),以降低产品成本。

(2) 在产品设计方面,采用先进的设计工具和现代设计方法,尽量采用标准件、通用件和现有的构件,采用合理和对称的结构设计,减少设计工作量,提高设计效率和质量,缩短产品设计周期,降低产品设计成本。

(3) 在产品制造方面,采用合理的结构工艺性和制造精度,尽可能采用普通的设备和加工方法,尽量降低原材料费用(一般占产品成本50%以上)和加工费用。

1.4.5 可持续发展约束

可持续发展是指既满足当代人的需要,又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展,它的核心问题是保护社会环境和合理利用资源。所设计的产品在带来社会效益的同时,必须限制其对社会可能产生的不良影响。一般包括以下几方面的内容:

(1) 所设计的产品应该符合国家的科技政策和发展规划的目标,正确处理与企业效益

和社会效益的关系。

(2) 所设计的产品应该按照国家制定的环境保护法规,减少产品工作过程中产生的废气、废液和废渣等,减轻振动噪声对环境的污染,重视废物回收利用和综合处理,积极采用环保的工作介质,同时采取减振、隔声和吸声的技术措施。

(3) 所设计的产品应该符合人机系统(人-机器-环境)安全可靠的要求。人在人机系统中占主导的决策地位,在设计中应当考虑显示与控制在人机系统中的协调性,符合人体的生理和心理特征,并且考虑人体的尺度,使机器与人相互适应,以创造良好、舒适、安全的环境条件,减少工伤和设备事故。

(4) 所设计的产品应该有利于提高生产力,促进制造过程自动化。

(5) 所设计的产品应该有利于合理利用、开发和节约资源。

1.5 机械结构设计

机械结构设计任务就是根据产品的功能原理方案,在总体设计的基础上进行技术设计(首先通过对构件的工作能力设计,确定其基本参数和主要尺寸;然后通过对构件的结构设计,确定其具体的结构图),以体现所要求的功能,即完成从“原理解”到“技术解”的转化。合理的结构设计是改善和提高设计质量的重要手段。在机械结构设计中,需要选择部件和零件的材料,确定其参数和形状尺寸,考虑制造工艺、精度、强度、刚度、稳定性以及零件之间的配合关系等许多因素。

1.5.1 零件的相关与结构要素

零件是机器的制造单元,从结构设计的意义上讲,可以将零件称为结构件。各种结构件的功能主要是承受载荷、传递运动和力、保证有关零部件之间的相对位置或运动轨迹。

在机械系统中,各种零件通过链状、树状或网状的相互连接,构成完整的机械网络。如果某个零件与一个或多个零件之间有装配关系或相互位置关系,这种关系称为相关。组成这种关系的零件互为相关零件。

有直接装配关系的称为直接相关,如图 1-13 中的小齿轮 6 与高速轴 5、小齿轮 6 与大齿轮 9 等。没有直接装配关系的称为间接相关,它又分为位置相关(两个零件在相互位置上有要求,如图 1-13 中的高速轴 5 与低速轴 3 的中心距必须保证一定的位置精度)与运动相关(两个零件在运动轨迹上有关联,如车床刀架的运动轨迹必须平行于主轴的中心线,这是靠床身的导轨与主轴轴线的平行度来保证的)两种。

进行结构设计时,对两个零件直接相关的部位,必须同时考虑合理地选择材料与热处理方式、形状和尺寸、制造精度和表面质量等,而且必须满足间接相关条件,如进行尺寸链和精度的计算等。一般来说,某零件的直接相关零件越多,其结构就越复杂;零件的间接相关零件越多,其精度要求就越高。

零件与其他零件直接相关的部位称为工作部分(有时将用以固定连接的工作部分称为安装部分),将各工作部分连接起来并使它们保持各自位置的部

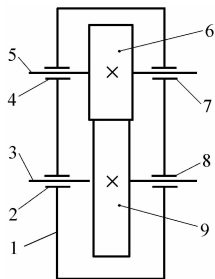


图 1-13 减速器简图

1—箱体(箱盖); 2,4,7,8—轴承; 3—低速轴;
5—高速轴; 6—小齿轮; 9—大齿轮

位称为连接部分(常起到支承的作用)。多数零件是由两个或两个以上工作部分及连接部分组成的。如图 1-14 所示的支架,支承轴颈的座孔是工作部分,要求一定的尺寸、形位精度和表面质量;底板是安装部分,采用平面定位以及用两个螺栓与机座固定连接,要求具有一定的安装面积,并且安装面与座孔轴线有一定的尺寸精度和位置精度;将上述两部分连接起来的竖板是连接部分,在结构中起支承作用,主要考虑强度和刚度问题。因此,在结构设计中,通常先确定工作部分,主要考虑精度和表面质量;再确定连接部分,主要考虑强度和刚度要求。

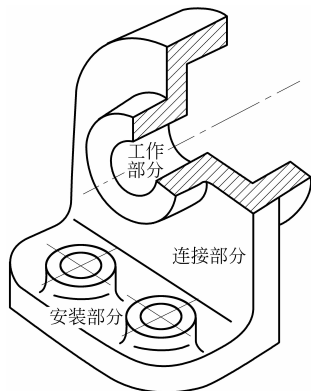


图 1-14 支架

1.5.2 结构设计的基本要求

结构设计的基本要求是明确、简单和安全可靠。

1. 明确

所谓明确,是指功能、作用原理和工作状况明确。

首先,在结构设计中应该使各部分功能之间联系清楚、合理,并且获得明确的体现与分组。例如,在轴毂连接中,如果采用锥形轴径同时起到定心和轴向定位的双重作用,则当轴孔较小时,轴肩起不到轴向定位作用(图 1-15(a));当轴孔较大时,锥形轴径起不到径向定心作用(图 1-15(b))。这两种结构的缺陷是对锥形轴径的功能不明确引起的。如果采用图 1-15(c)的改进结构,轴毂的径向定心由圆柱形轴与孔的配合精度来保证,轴毂的轴向定位由轴肩来保证,则径向定心和轴向定位的功能就可以获得明确的体现与分工。

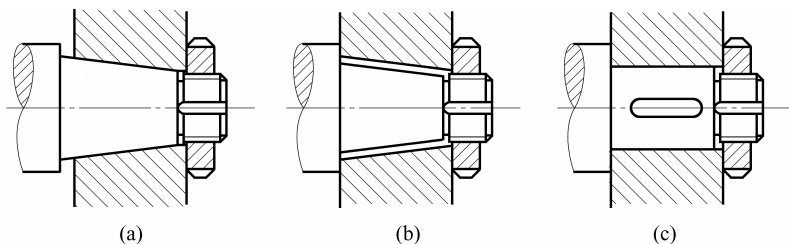


图 1-15 轴毂连接的定位结构

其次,在结构设计中必须明确作用原理,应该尽量减少静不定问题,使力流路线明确。例如,图 1-16 中的轴上有径向载荷和轴向载荷,支座采用两个轴承支承结构。图 1-16(a)所示的圆柱滚子轴承和深沟球轴承组合结构,由于滚动轴承的类型结构和承载特点(圆柱滚子轴承只能承受径向载荷,深沟球轴承可以同时承受径向载荷和轴向载荷),决定了各个轴承的受力不明确(两个轴承各自承受多少径向载荷不明确),会导致轴承载荷计算不准确。图 1-16(b)所示的采用圆柱滚子轴承和采用推力球轴承(只能承受轴向载荷)的组合结构,体现了作用原理(力流路线)明确,两个轴承分别承担径向载荷和轴向载荷。

2. 简单

在结构设计中,所包含的零件数目要少,零件的几何形状尽可能简单(如平面、圆柱、圆锥等),容易计算、加工和检验,零部件之间的连接关系和调整措施也要尽可能简单。这样,

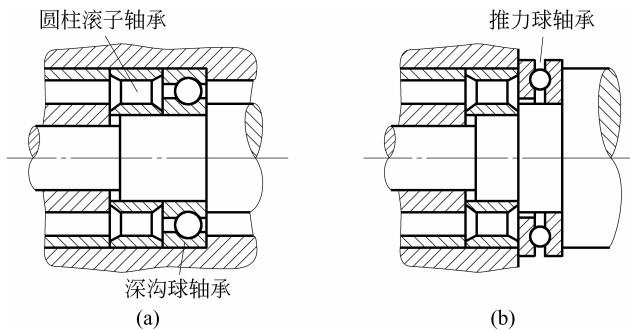


图 1-16 双轴承支座结构

(a) 两个轴承受力不明确; (b) 两个轴承受力明确

便于构件制造与部件装配,提高机械的工作精度和可靠性。

3. 安全可靠

所谓安全可靠,是指在规定的载荷、使用条件和时间内,构件不产生失效、不对人和环境产生危害。安全技术有直接、间接和提示性 3 种类型。

(1) 直接安全技术: 在结构设计中充分满足安全要求,通过构件的结构形状和失效约束计算两方面来保证构件工作的可靠性、功能的可靠性、工作安全性和环境安全性。当破坏无法避免时,可以采用特定的功能元件将破坏引导到特定的次要部位。例如,车床丝杠上设置易于剪断的安全销,以便当切削力过载时被剪断,保护设备的安全。在某些需要高可靠性和安全性的关键设备上,可以采用配置备用系统的冗余原理,备用系统可以在主系统发生故障时减免系统的不安全性,如飞机的多发动机配置、大型汽轮机轴承润滑的备用系统等。

(2) 间接安全技术: 在结构设计中采用防护系统和保护装置满足安全要求的技术,如汽车上的安全带,液压、气动或锅炉系统中的安全阀,电动机驱动系统中的热继电器等。

(3) 提示性安全技术: 仅在危险发生之前发出警告,如警示灯、警铃等,并且可以通过显示装置说明发生危险的部位和原因。

在结构设计中,必须首先采用直接安全技术满足系统的安全要求,其次在需要时才采用间接安全技术。提示性安全技术仅是一种补充性的安全技术。

能力训练案例 1-6 图 1-17 所示的轴毂连接中,采用过盈配合和平键连接的双重配置。试分析该结构设计的作用原理是否明确。

解: 由于轴毂过盈配合连接使轮毂的键槽底部 A 处出现应力集中,轮毂 B 处截面强度被削弱,靠近高度集中传力区 C 处的应力状态复杂,造成构件处于不明确的受力(应力)状态,则平键连接只起周向定位的作用,不能按照承受周向载荷来确定平键连接尺寸。

在轴毂连接中,应该采用过渡配合以保证连接件的同轴度。采用键连接实现周向固定以传递扭矩,才能明确零部件的工作状况和载荷状况,以便合理选择材料和进行相关参数尺寸计算。

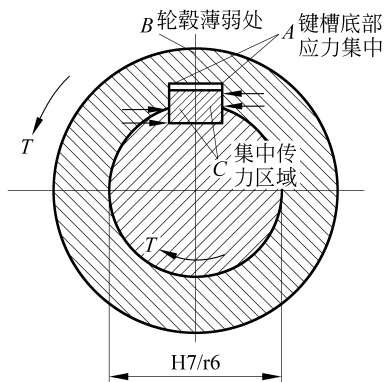


图 1-17 轴毂连接过盈配合和键连接的双重配置

1.5.3 结构设计的构型变换

从功能的观点,零件承担功能要求的表面可称为功能面。因此,零件是由一些功能面通过边棱邻接而成的。从结构的观点,这些功能面是零件的构型元素。通过对这些构型元素的变换,可以派生出不同的结构方案。

1. 尺寸变换

尺寸变换是指通过改变构型元素的尺寸而改变其构型。例如,常用使构型元素的角度或距离相等的处理方法获得对称的构型(图 1-18)。

2. 形状变换

通过改变功能面的结构形状可以得到新的结构形式。例如,将齿轮的渐开线齿面改成圆弧齿面,将滚动轴承中的滚动体球改成圆柱(图 1-19),可以提高承载能力。

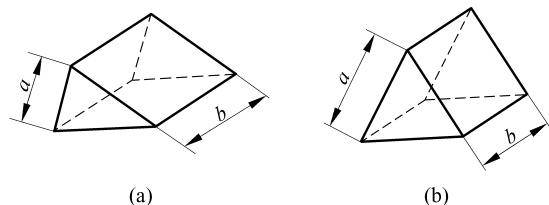


图 1-18 尺寸变换

(a) a 与 b 不相等; (b) a 与 b 相等

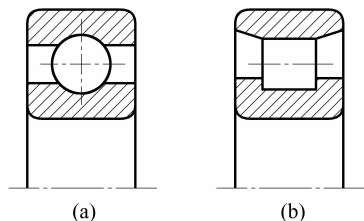


图 1-19 形状变换

(a) 深沟球轴承; (b) 圆柱滚子轴承

3. 位置变换

通过改变零件与零件之间功能面的相对位置可以得到新的结构形式。图 1-20(a)中摆杆的平面与推杆的球面接触,传递载荷时推杆会受到有害的横向推力;图 1-20(b)变换了两个构件功能面的位置,改善了受力情况。

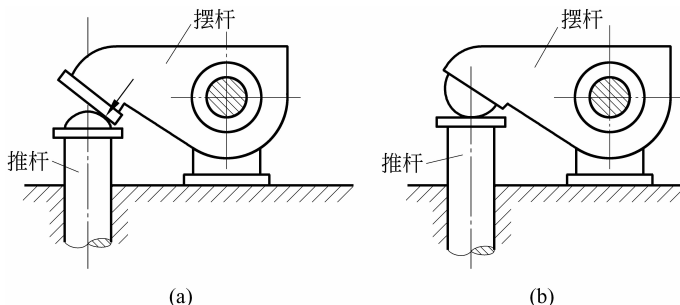


图 1-20 位置变换

4. 数量变换

数量变换是指通过改变零件数目或功能面数目来变换结构。例如,将图 1-21 所示轴上的矩形花键从四齿变换成八齿。

5. 排列变换

排列变换是指通过改变零件功能面的排列顺序来变换结构。例如,图 1-22 所示的构件