

第 1 篇

机械系统运动 方案设计



绪 论

机械是人类通过长期生活实践后创造出来,用以代替或减轻人的体力与脑力劳动的技术装置。在机械的发展历程中,机构一直是发明创造的主体。从远古的简单机械、东汉时期的地动仪、文艺复兴时期的计时装置和天文观测器到当代的巨型天文观测系统,从诸葛亮的木牛流马、达·芬奇的军事机械、工业革命时期的蒸汽机到当代的机器人,从 20 世纪 60 年代的登月飞船到现代的航天飞机和星球探测器,机械装备的进步与机构的发展息息相关。

随着科学技术的发展,机构经历了从平面到空间、从单自由度到多自由度、从串联到并联、从刚性到柔性、从静态设计到动态设计的发展过程。图 1.1 所示的 Mini Cheetah 四足机器人是现代机构发展的一个典型案例。通过对机构和控制部分的不断优化改进,四足机器人体型小巧、动作灵活,是目前 10 kg 以下运动速度最快的四足机器人。其中,Mini Cheetah 腿部的轻量化、高扭矩和低惯性设计,使机器人能够执行快速、动态的动作,并能够应对后空翻等动作带来的地面强力冲击。



图 1.1 Mini Cheetah 四足机器人及其腿部结构

综上所述,机构是机械产品发明创造的源泉,机构的创新设计决定了机械产品的创新性。“机械原理”又称“机构学”、“机械运动学与动力学”或“机构与机器理论”,是研究机构及机械系统的共性(组成、运动学、动力学)原理及其分析设计方法的基础学科。本章主要介绍机械系统的组成、机械系统概念设计等基本内容。

1.1 机械系统的组成

机械系统是一个广义的概念,可以定义为由若干机械要素组成、完成所需的动作传递和转换、实现机械能变化的系统,因此机器与机构均可称为机械系统。随着生产和科学技术的

发展,机械系统的内涵也在不断发生着变化。从机械系统可控程度出发,可分为纯机械系统和广义机械系统。广义机械系统通常是机电一体化系统,由人—环境—机器组成。在本书中,机械系统主要界定为机器。

机器是一种具有确定机械运动、并通过运动来实现能量转换、物料或信息传递的装置。例如,在动力机器中,内燃机、风力发电机、磁力发电机等能够实现能量的转换;在工作机器中,汽车、机床、包装机、挖掘机等能够实现物料的传递,完成有用的机械功;在信息机器中,打印机、复印机、绘图机等能够实现信息的传递和变换。

机器种类繁多,其构造、用途和性能也各不相同,但就其组成而言,又具有共同特征。一般来说,现代机器通常由动力系统、传动系统、执行系统以及控制系统组成。下面通过具体实例来说明。

图 1.2 为汽车构造示意图,其中:

(1) 汽车的动力系统为发动机,其作用是把燃料燃烧产生的热能转化为机械能,为汽车提供动力。

(2) 汽车的传动系统由离合器、变速器、万向传动装置和驱动桥组成。其中万向传动装置由万向节和传动轴组成,驱动桥由主减速器和差速器组成。传动系统的主要作用是将发动机提供的动力传给汽车的驱动车轮。

(3) 汽车的执行系统亦即行驶系统,主要由车架、车桥、车轮和悬架组成。其主要作用是接受传动系统传来的转矩,并通过驱动轮与路面的附着作用,产生路面对汽车的牵引力。

(4) 汽车的操纵系统主要包括方向盘、操纵杆和加速、停车踏板等,而汽车电子控制系统主要包括发动机电子控制系统、底盘综合控制系统、车身电子安全系统和信息通信系统。

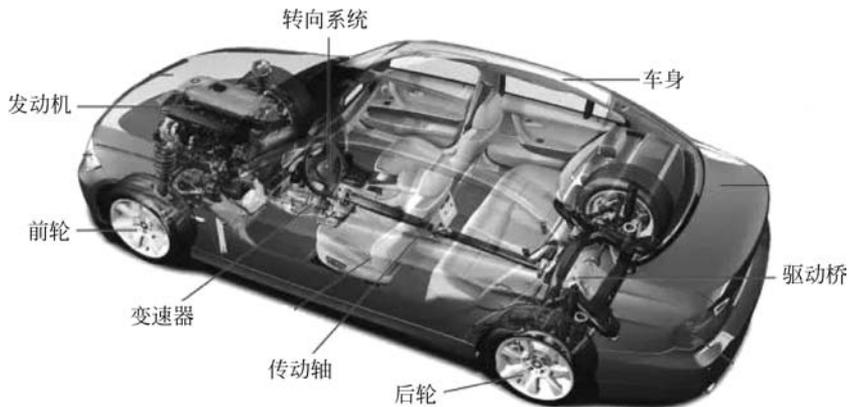
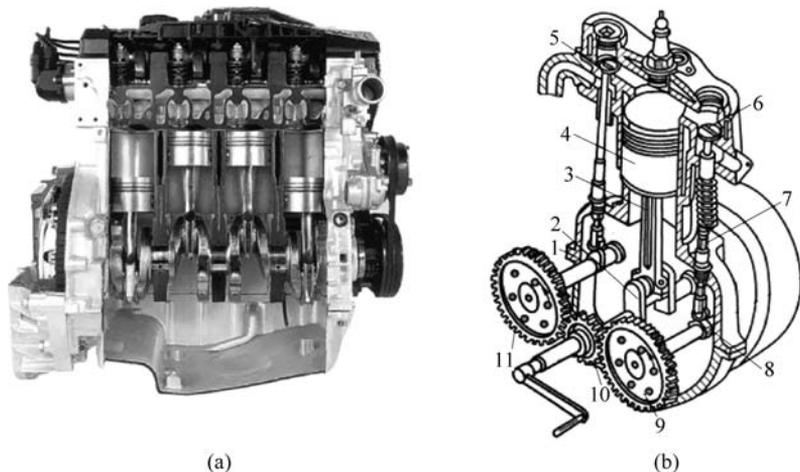


图 1.2 汽车构造示意图

图 1.3 所示为一四冲程内燃机。其工作原理是:在进气冲程,燃气由进气管通过进气阀 5 被下行的活塞 4 吸入气缸 1,然后进气阀 5 关闭;在压缩冲程,活塞 4 上行压缩燃气,当到达上止点时,点火使燃气在气缸 1 中燃烧、膨胀产生压力;在做功冲程,气缸压力推动活塞 4 下行,通过连杆 3 带动曲轴 2 转动,输出机械能;在排气冲程,活塞 4 再次上行,排气阀 6 打开,废气通过排气阀排出,从而完成了一个工作循环。图中,活塞 4、连杆 3 和曲轴 2 构成的装置称作曲柄滑块机构;凸轮 8 和推杆 7 构成了凸轮机构,用来控制进气阀和排气阀的开启与闭合;齿轮 11、9、10 构成的齿轮机构则用来保证进气阀、排气阀和活塞之间形成



1—气缸；2—曲轴；3—连杆；4—活塞；5—进气阀；6—排气阀；7—推杆；8—凸轮；9~11—齿轮。

图 1.3 四冲程内燃机结构图



内燃机

一定规律的运动。以上各部分协调动作,便能将燃气燃烧产生的热能转变为曲轴转动的机械能。

通过以上实例可以看出:机构是实现预期机械运动的实物组合体,可以完成运动传递或运动形式的转换。机器是由各种机构组成、能实现预期机械运动的实物组合体,可以转换机械能并完成有用机械功或处理信息。机构与机器的不同点在于机构没有能量的转换或信息的传递,但从结构和运动的观点来看,二者都是实现机械运动的装置,因此工程中将机构与机器统称为机械。

1.2 机械系统的设计程序

机械系统设计是指根据产品的功能要求和市场需求,应用现代科学技术知识,经过设计者的创造性思维和设计,完成制造方案和工程图纸的工作过程,最终目的是为市场提供高质量、高性能、高效率、低能耗和低成本的产品。机械产品的质量和经济性取决于设计、制造和管理等方面的综合水平,而产品的设计是关键环节。

1.2.1 机械系统的基本要求

机械系统的基本要求是设计和制造的依据,也是实现系统功能的基本条件。评价机械产品是否优良,主要根据技术指标和经济指标来综合判断。机械系统一般应具备以下三个方面的基本要求。

1. 功能与性能要求

用户对产品的需求实质是对产品功能的需求,而产品的复杂程度与其所实现的功能密切相关。产品功能越多,通常设计与制造成本也越高,而功能太少,则可能会影响市场竞争力。因此需在保证基本功能和使用要求的情况下,合理地取舍产品的功能。

性能是指产品为保证功能实现而体现出来的技术特征,通常包括工作范围、运动要求、动力性能等。例如,机床的工序种类、尺寸范围、主轴转速、进给量、输出功率、刚度、抗振性等。

2. 可靠性与适应性要求

可靠性是指产品在规定的工作条件下和预期使用时间内,能够完成系统功能的概率。可靠性关系到产品能否持续正常工作。产品越重要,可靠性要求越高。

适应性是指当工作状态或环境发生变化时产品的适应程度。工作状态和环境包括作业对象、工作负荷、工作速度等方面。产品适应性要求越高,设计、制造与维护的成本也越高。因此,应根据产品的工作状态和环境要求合理地确定适应性要求。

3. 经济性要求

经济性主要反映在生产成本和使用成本方面。生产成本是指产品在设计、制造、管理和销售方面的费用支出,使用成本是指产品在运行和维修方面的费用支出。

1.2.2 机械系统的设计流程

机械系统设计的基本流程主要包括产品规划、概念设计、构形设计、样机测试与改进设计等阶段。

1. 产品规划

产品规划要求进行需求分析、市场预测和可行性分析,确定设计参数和约束条件,做出详细的设计任务书。

2. 概念设计

概念设计是机械系统设计中最重要的一环,其任务是在分析产品的功能需求和工作原理的基础上,对机械产品进行工艺动作分解及构思,初步拟定各执行构件动作相互协调配合的运动循环图,进行机械运动方案的设计。

3. 构形设计

构形设计是将机械运动方案具体转化为机器及零件的合理构型,主要工作是完成机械产品的总体设计、部件与零件设计,完成全部生产图样,并编制设计说明书与使用说明书等技术文件。

4. 样机测试与改进设计

经过加工、安装和调试后,制造出样机。对样机进行性能测试,验证其是否达到预期的功能要求与性能要求,评价其可靠性、适应性与经济性,并据此进行产品的改进与完善设计。

因此,机械系统设计的各个阶段是相互联系、相互融合的,是一个“设计—评价—再设计”的迭代过程。

1.3 机械系统的概念设计

如前文所述,机械系统概念设计是机械系统设计中最重要的一环,也是实现机械系统创新与品质飞跃的关键环节。概念设计是设计的前期工作过程,其目的是产生设计方案,但概念设计不只局限于方案设计,还应包括设计工程师对设计任务的理解、设计灵感的表达、设计理念的发挥。概念设计的核心是创新。

机械系统概念设计的基本内容包括机械系统功能分析与功能结构设计、机械系统工艺动作分解及构思、机械运动方案构思与设计三个方面。

1.3.1 机械系统功能分析与功能结构设计

机械系统功能分析的主要内容是通过对市场需求和用户需求的分析,对功能进行抽象,再将总功能分解为若干分功能,进行功能结构图的构思和设计。

功能是对系统特定工作能力抽象化的描述,与产品的用途、能力、性能等概念的表达不尽相同。例如,电动机的用途是做原动机,而反映其特定工作能力的功能是转换能量,即将电能转化为机械能。对系统功能的描述,可以采用其具有的转化能量、物料、信息等物理量的特性来描述。如图 1.4 所示,可以把待设计机械系统看作“黑箱”,分析系统输入输出的能量、物料和信息,而输入输出的转换关系即反映系统的总功能。

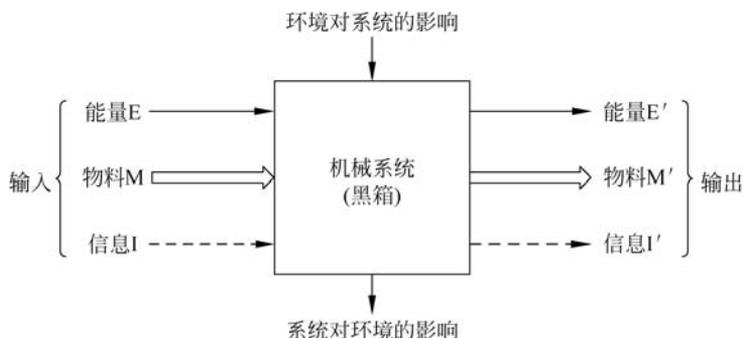


图 1.4 机械系统总功能“黑箱”图

总功能依次逐级分解,可以得到若干子功能,功能分解在一定程度上也是创新的过程。图 1.5 为普通机床的功能分解图。

将子功能的抽象关系确定后,可以进行功能结构图的构思和设计。例如,硬币计数包卷机的主要功能有硬币堆放及输送功能;硬币挑残、分选、排列功能;硬币分选、计数功能;硬币堆码、整理功能;送纸、撕纸功能;硬币包卷功能、卷边功能及其他辅助功能。图 1.6 为硬币计数包卷机的功能结构图。

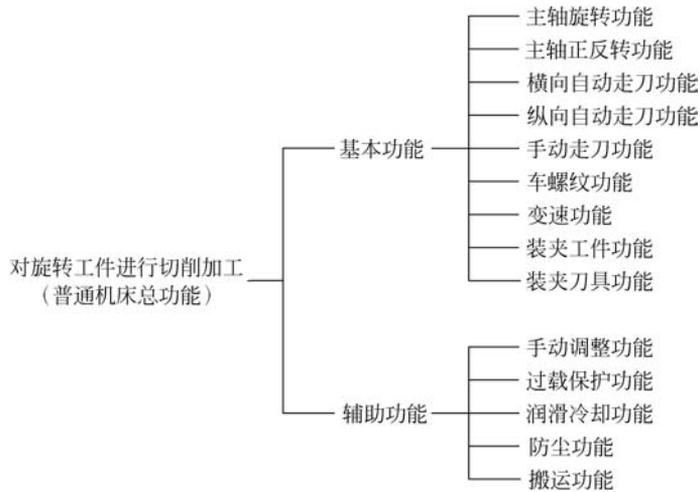


图 1.5 普通机床的功能分解图

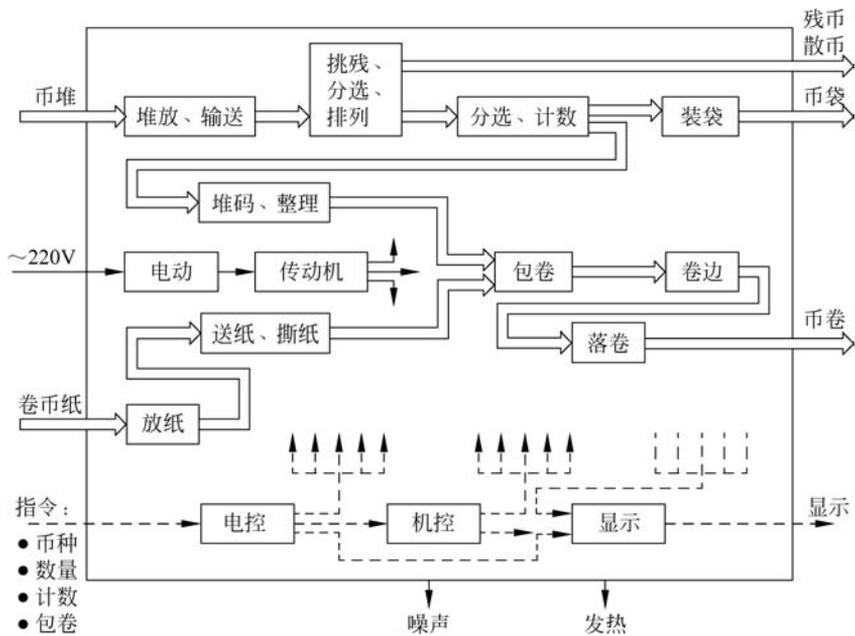


图 1.6 硬币计数包卷机的功能结构图

1.3.2 机械系统工艺动作分解及构思

实现机械系统的功能主要靠工艺动作来完成,工艺动作的分解往往对应于功能的分解。例如,图 1.7 所示的缝纫机的功能可分解为刺布、挑线、钩线和送布四个功能,其对应的工艺动作为缝纫机针的上下运动、挑线杆的供线和收线、梭子钩线和送布。

同一功能可以由不同的工艺动作来实现,因此工艺动作的构思也非常重要。例如,包装颗粒糖果的包装机功能可以由不同的包装动作来实现,图 1.8(a)为扭结式包装,图 1.8(b)为折叠式包装,图 1.8(c)为接缝式包装。



图 1.7 缝纫机的缝纫功能



缝纫机

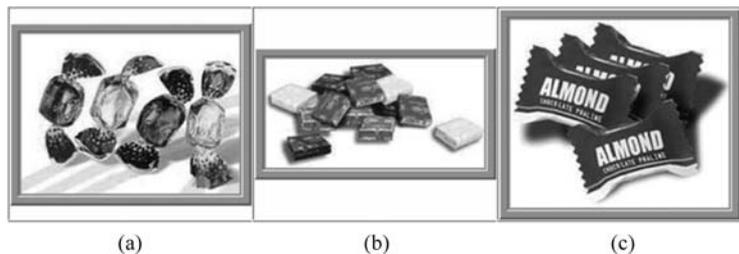


图 1.8 糖果包装机的三种包装构思

1.3.3 机械运动方案构思与设计

实现机械系统功能的工艺动作是靠若干个机构来完成的,机械系统的概念设计最终归结为机械运动方案的设计。如前所述,机械系统主要由动力系统、传动系统、执行系统和控制系统所组成,因此,机械运动方案的设计就是根据机械系统的需求,对上述各部分进行方案设计,其中传动及执行机构系统是方案设计的核心。详细内容见第 2 章内容。

1.4 机电一体化系统的概念设计

随着现代科学技术的不断发展,“机电一体化”已逐渐成为现代机械系统的基本特征。机电一体化系统是将机械技术与信息处理及控制技术相结合,来实现产品功能和工艺动作过程,体现了机械系统的自动化和智能化。

从功能角度分析,机电一体化系统主要包括主控和执行两大功能模块,如图 1.9 所示。主控模块包括信息处理及控制系统和传感检测系统;执行模块即执行子系统,由多个执行单元耦合而成,每个执行单元即是一个功能单元,由信息处理及控制子系统、传感检测子系统和执行机构子系统组成,实现机械运动、信息检测、信息处理和控制功能。

广义执行机构子系统是机电一体化系统的核心,由驱动元件和执行机构组成。广义执行机构的驱动元件类型十分广泛,包括感应电动机、步进电动机、伺服电动机、液压缸、弹簧、光电马达,甚至形状记忆合金等。广义执行机构的执行元件除传统的刚性构件外,还包括柔性构件、弹性构件等非刚性构件。

机电一体化系统的概念设计的基本内容是:从市场需求出发,确定机电一体化系统的总功能,对功能及其工艺动作进行分解和构思,设计或选择合适的广义执行机构子系统、信

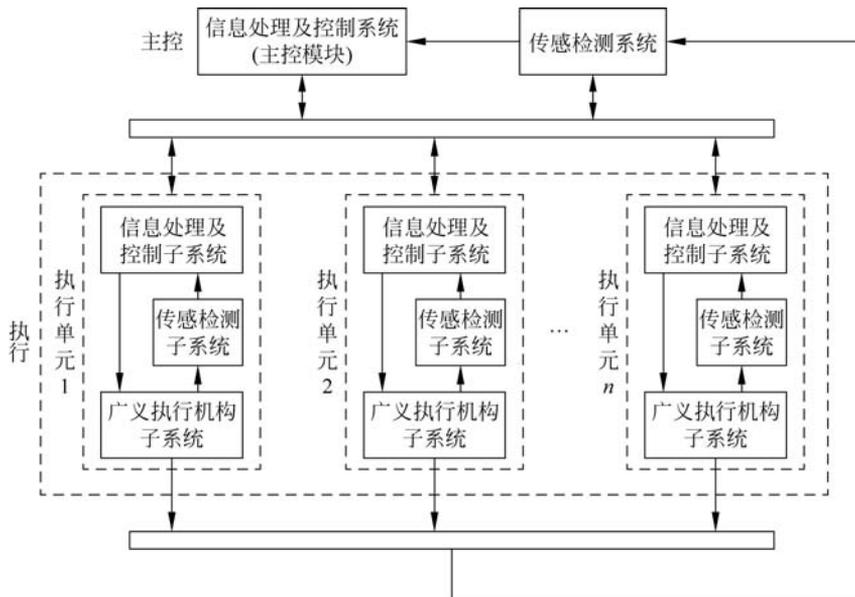


图 1.9 机电一体化系统的组成

息处理及控制子系统、传感检测子系统,并将上述子系统进行集成与融合,形成机电一体化系统方案。最后对方案进行评价,确定最佳方案。

在机电一体化系统的概念设计中,机械技术与信息处理和控制技术的协同也使得设计者在形成方案时拥有更大的创新空间,更能满足多样化的用户需求,孕育出新颖独特的机电一体化系统。

1.5 知识拓展:足式移动机器人

机器人种类多样,移动型机器人主要可分为足式、轮式、履带式 and 复合式四种。与其他类型机器人相比,足式移动机器人(如图 1.10 所示)的优势主要体现在以下两个方面:①采用离散落脚点方式,可以适应复杂地形;②多肢体、多自由度的身体特征,具有较高的运动容错性和减振性能。因此,足式移动机器人由于其优越的越障能力和地形适应能力,在军事作战、现场救援和物资运输等方面具有广阔的应用前景。

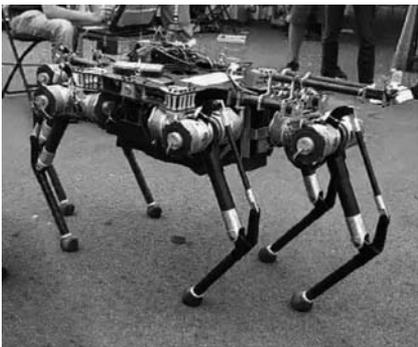


图 1.10 足式移动机器人

就军事应用而言,常规的轮式、履带式和复合式机器人难以适应山地、丘陵等复杂的作战环境,而足式移动机器人在运动灵活性和环境适应性等方面具有非常显著的优势。在火灾、辐射等存在安全隐患的环境中,足式移动机器人可替代人力开展救援工作。有数据显示,灾难发生后的 36 小时左右是开展救援工作的黄金时期。

根据足式移动机器人关节腿的数量可将其分为

足式
机器人