

现代机械设计 理论和方法

黄雨华 董遇泰 主编



NEUPRESS
东北大学出版社

前 言

本书是为“机械工程与自动化”专业编写的一本有关现代机械设计理论和方法的专业教材。编写该教材的主要指导思想包括以下几个方面。

1. 教材应适应我国教育改革,特别是专业设置改革的需要。从20世纪80年代开始,我国对机械类专业进行过多次调整和合并。至今,“机械工程与自动化”已成为机械工程类中的一个主要专业。因此,在本教材的编写内容上要突出专业面宽、适应性广的特点,改变以往以专业机械设计为主线的教学内容,抓住机械设计中的共性和主要问题,使学生能很好地学习和掌握现代机械设计的主要理论和方法,并使其能够具有设计新颖、高效、成本低廉、有市场竞争力的机械产品的初步能力。

2. 教材应适应机械设计现代化的发展。由于大规模集成电路和微型电子计算机为代表的微电子、信息等高新技术的出现和发展,机械工业相应也得到了飞速的发展,机械设计理论和方法也发生了深刻的变化,出现了诸如创造性设计方法、机械优化设计、机械可靠性设计、摩擦学设计、机械动态设计、机电一体化技术、机械设计专家系统等。目前,新的设计理论和方法还在不断涌现。因此,本教材将比较成熟的主要的现代机械设计理论和方法编写进来,以便在机械设计中得以应用,提高机械设计的水平,适应机械工程的发展。

3. 机械设计中应突出机械是一个整体、一个系统的设计思想。一个机械产品是由许多零件和部件组成的有机整体,机械设计就是要尽量获得各单元和子系统的最佳协调配合,以取得整个机械产品的最优效果。因此,在机械设计上要从系统工程的角度出发,从机械产品的整体上进行考虑,不能仅是对机器的零部件进行单独的、割裂的设计,要采用系统工程的设计方法。因此,本书内容侧重培养学生对各类产业机械系统进行设计的能力,至于一些机械设计的基础知识,如机械原理和机械零件设计的一般知识,这里就不再重复。

4. 已单独设课的一些设计理论和方法在本教材中不再讲述。机械设计的理论和方法涉及的范围很广,内容也很多。随着机械产品向高新技术发展,目前出现的机电一体化技术、现代机械控制理论和技术、计算机辅助设计等,其内容已编入相应的必修课和选修课教材,因此也就不再列入本教材中。

本书由东北大学黄雨华、董遇泰担任主编,参加编写的有:黄雨华(第1,4,9,12章)、董遇泰(第2章第1~3节,第6章)、赵新军(第3,5章)、王德俊(第2章第4节,第7章)、张瑞金(第8,13章)、文成秀(第10章)、颜云辉(第11章)、李国义(第14章)。

全书由欧宗瑛教授、张国忠教授、丁津原教授审稿,王德俊教授也参加了全书的审定工作,他们对教材都提出了宝贵的意见,给予了很大的支持和帮助;本书在编写过程中得到许多同志的关心和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中难免有不足和疏漏之处,恳切希望读者批评指正。

编 者

2000年12月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 机械系统和现代机械设计方法	1
1.2 机械设计的原则和基本程序	5
第2章 机械的功能原理方案设计	9
2.1 机械的分类与功能组成	9
2.2 机械功能分析方法	10
2.3 机械系统的功能原理设计	15
2.4 创新设计方法的应用	23
第3章 机械系统的工作载荷和动力机选择	28
3.1 机械系统的工作载荷	28
3.2 动力机的类型及其机械特性	37
3.3 动力机的选择和计算	48
第4章 机械的传动系统设计	62
4.1 概 述	62
4.2 固定传动比的传动设计	68
4.3 有级变速传动系统设计	74
4.4 无级变速传动系统设计	82
第5章 机械的执行系统设计	91
5.1 执行系统的功能及分类	91
5.2 执行系统的运动分析	96
5.3 机械运动循环图设计	99
5.4 执行系统设计步骤和实例	105
第6章 机械结构设计	109
6.1 机械结构设计的基本原则和原理	109
6.2 机械结构设计常用方法	112
6.3 机械结构工艺性设计	118
6.4 材料选择	125

第7章 机械强度和刚度设计	129
7.1 机械强度安全性判据	129
7.2 抗疲劳设计	134
7.3 损伤容限设计	148
7.4 机械刚度设计	153
第8章 机械结构的有限元分析方法	156
8.1 有限元分析方法的基本原理	156
8.2 单元类型及单元特性的推导方法	158
8.3 有限元法的解题步骤	168
8.4 计算实例	176
第9章 机械的摩擦学设计	180
9.1 机械的摩擦和磨损	180
9.2 摩擦学设计中的材料选择和表面强化处理	184
9.3 润滑和润滑系统设计	188
第10章 机械动态设计	200
10.1 动态设计的有关概念和基本思想	200
10.2 轴类部件动态分析与设计	206
10.3 传动系统的动态分析与设计	213
10.4 机械结构的动态分析与设计	221
第11章 机械优化设计	225
11.1 机械优化设计基础知识	225
11.2 无约束问题的优化设计方法	239
11.3 约束问题的优化设计方法	246
第12章 机械可靠性设计	249
12.1 可靠性的基本概念及其主要技术指标	249
12.2 可靠性设计中常用的分布函数	254
12.3 机械可靠性设计的基本原理	260
12.4 机械系统的可靠性	266
第13章 机械设计的专家系统	272
13.1 概述	272
13.2 知识的获取和表达	275
13.3 知识的运用	278

13.4 机械设计专家系统的建造·····	281
第 14 章 设计的评价与决策 ·····	289
14.1 设计的评价准则和内容·····	289
14.2 设计的评价目标和方法·····	290
14.3 设计的决策·····	302
14.4 设计方案的评价与决策举例·····	303
参考文献 ·····	312

第1章 绪论

1.1 机械系统和现代机械设计方法

1.1.1 机械和机械系统

1. 机械系统的概念

机械是机器和机构的统称。在现代社会中,机械已成为人类在生产 and 生活中广泛使用的主要工具,机械的发展水平与社会的发展水平密切相关,成为衡量社会生产和科学技术发展程度的重要标志之一。

从系统工程的角度考虑机械的设计是现代机械设计方法的主要特点之一。所谓系统,是指具有特定功能,相互间具有有机联系,由若干要素构成的一个整体。这里的要素是指系统的最小单元(或称基本单元)。一般认为,由两个或两个以上的要素就可以组成具有一定结构和特定功能的整体,可以看做一个系统。通常,一个大系统可由若干个子系统组成,子系统又可由更小的子系统组成,这样逐级分解,最终得到的就是组成系统的最小单元。有时,该一系统也是别的更大系统的组成部分。

任何机械都是由若干零件、部件和装置组成的,并具有特定功能的一个特定系统,因其有确定的质量、刚度和阻尼,故又称为机械系统。一个较为复杂的机械都是一个系统,基本由以下子系统组成:动力系统、传动系统、执行系统、操纵和控制系统、架体支承系统等。机械零件是组成机械系统的基本单元,为了使机械能完成一定的功能而互相联系在一起。从广义上说,机械系统本身是人—机—环境这个更大系统的组成部分。因此,在设计机械系统时,常把机械本身构成的系统称为内部系统,把人和环境构成的系统称为外部系统。

2. 机械系统的特性

机械系统是一种能完成特定功能的系统,因此也就具有系统的一般特性。

(1)整体性 一个机械系统总是由许多基本单元和子系统组成,构成机械系统的零部件虽然各具有不同的性能,但它们是依据整体性要求而构成的机械整体。机械系统不是各零部件的简单组合,否则就不会具有机械整体的特定功能。因此,每个零部件并不一定都需具有最好的功能,但它们综合统一后可形成一个具有良好功能的机械系统。反之,即使每个零部件都是精良的,但作为整体机械也不一定具有某种要求的良好功能,从而也就不能成为一个完善的机械系统。

由于机械系统往往是很复杂的,为了分析和研究方便可将其分成若干个子系统,但这种分解并不是孤立的,一定要了解各子系统间的相互联系及其与整个机械系统的关系,这种联系常用子系统的输入和输出表示。因此,在设计机械产品时,从系统论的观点就是要重点考虑机械系统的整体优化问题。

(2)相关性 机械系统内部各零部件之间都是有机联系的,互相相关的,它们之间相互作用、相互影响形成了特定的关系。如机械系统的输入和输出关系,各零部件之间的层次关系,

各零部件的性能与机械系统整体特定功能之间的联系,都取决于各零部件在机械系统内部的相互作用和影响。某一零部件的性能改变常会影响相关零部件的作用,进而对整个机械产生影响。

(3)目的性 任何机械都应有明确的目的和功能,机械系统中各零部件的布局和组合方式都决定于机械系统的目的和功能,应尽量实现机械的要求功能,去除或减少有害或无用功能。

(4)环境适应性 任何机械都是在一定的物质环境中工作的,任何外部环境的变化都可能对机械系统产生影响,引起系统的功能变化。通常说机械产品应适应环境的要求,就是指在环境变化的情况下机械系统仍能运行良好,保持确定的功能。

由于机械系统是一个有机的整体,多数是一个大系统,因而设计者应从机械系统的整体出发,不是仅仅考虑局部的、个别的零部件,只有对所设计的机械进行全面的、整体的考察和分析,才有可能设计出优良的机械产品。

3. 机械系统的组成

较为复杂的机械系统基本上是由图 1-1 所示的子系统构成。

(1)动力系统 包括动力机及其配套装置,是机械系统的动力源,按能量转换性质不同,可分为一次动力机和二次动力机。一次动力机是把自然界中的能源(一次能源)转变为机械能的机械,如内燃机、汽轮机、水轮机等;二次动力机是把二次能源(电能、液能、气能)转变为机械能的机械,如电动机、液压马达、气动马达等。

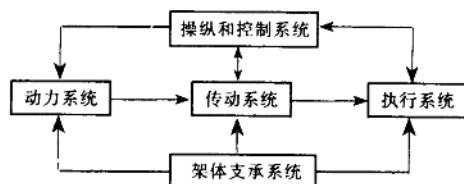


图 1-1 机械系统的组成

(2)执行系统 包括执行机构和执行构件,它的功能主要是利用机械能来改变作业对象的性质、状态、形状和位置,或对作业进行检测度量等。总之,它是进行生产或达到其他预定要求的装置。执行系统通常处于机械系统的末端,直接与作业对象接触,其输出也是机械系统的主要输出。因此,执行系统工作性能的好坏,直接影响整个系统的性能。

(3)传动系统 把动力机的动力和运动传递给执行系统的中间装置,主要有以下功能:

①改变运动速度。包括增速、减速和变速(包括有级变速和无级变速)等,以满足执行系统的不同速度要求。

②改变运动规律。把动力机输出的连续旋转运动改变为按某种特定规律变化的旋转或非旋转,连续或间歇运动,或改变运动的方向,以满足执行系统的运动要求。

③传递动力。把动力机输出的动力传递给执行系统,供给执行系统完成预定任务所需的力或转矩。

如果动力机的工作特性完全符合执行系统的工作要求,可将传动系统省去,使动力机与执行系统直接相联。

(4)操纵和控制系统 使动力机、传动系统和执行系统间彼此协调运动,并准确完成整机功能的装置。操纵系统多指通过人工操作实现上述要求的装置,包括启动、离合、制动、变速、换向等装置。控制系统是指通过人工操作或由测量元件获得的信号,经控制器使控制对象改变工作参数或运动状态的装置,如同服机构、自动控制装置。良好的控制系统可使机械系统处于最佳工作状态,提高其稳定性和可靠性,并有较好的经济性。

(5)架体支承系统 用于安装和支承动力系统、传动系统和操纵系统等的构件或部件,如

床身、立柱、支架和箱体等,其主要功能是保证机械系统要求的精度、刚度和强度。

此外,根据机械系统的功能要求还可有冷却、润滑、计数、行走等系统。

1.1.2 机械设计和现代设计方法

1. 机械设计的定义和特点

机械设计是设计者为满足社会和人们对机械产品功能的需要,运用基础知识、专业知识、实践经验和系统工程等方法,进行设想和构思、计算和分析,最后以技术文件的形式,提供产品制造依据的全过程工作。设计是为提供社会所需的产品进入市场所必要的一系列创新思维和活动。

机械设计的任务都是围绕着开发新的机械产品或改造老的机械产品而进行的,机械设计的最终目的是提供满足人们需求、具有一定功能、优质高效、价廉物美,并具有市场竞争力的机械产品。

机械设计是形成机械产品的第一道工序。产品的质量和经济效益取决于设计、制造和管理的综合水平,而产品设计是关键。没有高质量的设计就不可能有高质量的产品,设计本身如果有问题,可能会造成灾难性的损失。据统计,产品的质量事故有 50% 是由于设计失误造成的,产品 60%~70% 的成本取决于设计,设计周期占了产品开发总周期的 40% 左右。机械产品只有通过高素质的设计者,采用当代各种先进技术成果,精心设计才能成为现实。因此,设计体现了时代性和创造性。

机械设计具有如下主要特点。

(1)多解性 在许多情况下,一个设计方案不可能同时满足所有用户的要求,而能满足同一用户需求的设计方案一般来说也不止一个,因此设计具有多解性。通常,设计不可能一次性完成后不再修改或不在新的条件下重新进行,设计要适应不同的条件和要求。设计的多解性为同类功能的产品适应不同要求提供了可能。

(2)系统性 机械设计既要满足用户对产品技术性、经济性和社会性的追求,又必须满足各方面的约束条件,如加工和制造条件、使用和操作条件、保养和维修条件、运输条件等;机械设计还需考虑机械本身的系统性,也即整机或成套的机械产品都是由零部件组成,有竞争力的机械产品应该用系统工程的方法对合格的零部件进行科学的组合和合理匹配的结果。现代机械设计还要面对市场和企业,技术和经济等系统性问题,即要求设计既要满足市场需求,又要考虑企业的发展;既要解决技术可行和产品可靠的问题,又要考虑经济问题;既要解决设计本身的方法、手段和关键技术问题,又要解决产品寿命周期中各个环节的技术问题等。为此,机械设计有必要在基于系统工程的现代设计方法学的指导下进行。

(3)创新性 各种机械设计都是程度不同的创新活动。科技成果不断以产品形式转化为生产力,设计是实现这一转化的关键环节。每一个开发性设计都意味着有新的科技成果被应用,每一次产品的改进都是一次创新,设计过程体现了设计者的创造性劳动。从新的科技成果到新产品出现,实现这一转化的成功关键在于设计者是否能以不断变化的市场需要为目标,充分发挥自己的综合分析和创新思维能力,善于把新的科技成果进行科学而巧妙的构思并应用到新的产品中去。

2. 现代机械设计方法

机械设计方法可分为传统设计方法和现代设计方法。这两类设计方法的产生反映了机械

设计随社会生产和科学技术发展而发生的变化。

传统机械设计方法是指经验设计方法和半经验设计方法。在 20 世纪以前,设计者主要是凭借直觉和经验,以生产的经验数据为设计依据,运用一些基本的设计计算理论,借助类比、模拟和试凑等设计方法来进行设计,这就是经验设计方法。用这种方法设计的机械只能满足基本功能要求,结构的安全系数较大,只是依靠对原型机运行试验进行整机的综合性能分析。但由于试验和测试条件差、技术水平低,整机的性能分析也就难以深入,新产品往往需要经多次试验和修改才能定型。因此,产品研制周期长,产品的质量低、成本高。

在 20 世纪初至 80 年代,出现了图样设计,替代了试凑法,从而大大提高了设计效率和质量。随着科学技术的进步和实验手段的加强,进行设计理论和方法的研究,进一步提高了设计水平。此类设计方法称为半理论、半经验设计方法,其主要特点是:加强了设计基础理论和专业机械设计理论的研究,为设计提供了大量的信息,如设计数据、图表图册等;加强了关键零部件的试验研究,使整机试验趋于完善,大大提高了设计速度和成功率;加强了零件标准化、部件通用化、产品系列化的研究。半经验设计方法与经验设计方法相比,大大减少了设计的盲目性,有效地缩短了设计周期,提高了机械产品的质量和寿命,降低了成本。

传统设计方法因其简易方便至今仍被广泛应用,但其不足之处主要表现在:

①在设计理论上,主要集中在揭示设计对象的内在机理,而未将“设计”本身作为一门学科进行研究,对设计对象内在机理的分析也仅局限于采用简化模型;

②在设计方法上,未能将局部与系统、定性与定量、静态与动态、技术与经济、技术与美学、设计与销售等关系辩证地统一起来,融会贯通于设计之中,因而设计方法上有很大的局限性;

③在设计本质上,未能将创造性设计提高到应有高度来认识和研究,使具体设计缺乏创造性的思维方法。

现代机械设计方法是在 20 世纪 60 年代发展起来的,它是现代广义设计和分析科学方法的统称。现代设计方法较之传统设计方法具有显著的特点和先进性,主要表现在:

①在设计指导思想,由过去的经验类比方法提高到逻辑的、理性的和系统的新设计方法;

②在设计对象上,考虑了人一机一环境的相互协调,从而发挥产品的最大潜力或最大可能地提高系统的有效性;

③在设计方法上,广泛采用了 CAD、优化设计、可靠性设计、工业艺术造型设计、价值工程和创造性设计等方法,使设计水平有了一个质的飞跃;

④在设计手段上,充分采用电子计算机,自动绘图和数据库管理等新技术,大大提高了数据的准确性、稳定性和数据使用效率,使修改设计变得十分方便,分析工具的改进使设计采用尽可能精确的模型成为可能;

⑤在试验和测试技术上,采用频谱分析、激光全息摄影和计算机数据处理等先进技术,可对整个机械系统或零部件的性能进行科学的试验和分析,并可进行计算机仿真。

目前,随着以计算机和信息为标志的高科技时代的到来,机械设计已步入设计科学化和设计自动化的阶段,产品的技术经济指标不断得以优化,产品的设计周期不断缩短,现代机械设计方法将日趋完善。

表 1-1 列出了目前现代机械设计所涉及的主要理论和方法。

表 1-1

现代机械设计的主要理论和方法

1. 设计方法学	9. 损伤容限设计	17. 绿色设计
2. 优化设计	10. 摩擦学设计	18. 健壮设计
3. 可靠性设计	11. 模块化设计	19. 虚拟设计
4. 工业艺术造型设计	12. 热稳定设计	20. 智能工程
5. 有限元法	13. 精度设计	21. 反求工程
6. 动态设计	14. 相似设计	22. 设计专家系统
7. 计算机辅助设计	15. 三次设计	
8. 疲劳强度设计	16. 并行设计	

1.1.3 机械设计的学科体系

机械设计学科体系是以机械设计学为核心构成的。机械设计学是在现代设计理论、方法和技术及相关学科迅速发展的基础上逐渐形成的一门独立的工程技术学科。它是由关于设计的科学技术构成的,机械设计的学科体系主要包括以下三个方面。

(1)设计理论和设计方法学 主要针对机械设计所涉及的共同的、通用的设计理论和方法,如机械设计方法学、可靠性设计、优化设计、摩擦学设计、动态设计、计算机辅助设计、试验和测试技术等;这方面还包括了设计工具的开发和研究,如设计手册、工程数据库等。设计理论和设计方法学是机械设计学科的基础。

由于科学技术的飞速发展和机械产品的日趋先进,迫切需要不断地对共同所需的新的设计理论和方法进行深入的研究,因此在这方面发展十分迅速,构成了现代机械设计理论与方法的主要内容。

(2)基础零件的设计理论与方法 主要针对机械中一些基础零部件设计涉及的理论和方法,如联接设计、传动设计、轴承设计、润滑和密封设计等。基础零部件包括通用零部件(如齿轮、离合器、制动器等)和标准件(如螺栓、螺母、轴承等)。基础零部件在机械中的使用是普遍的、大量的,对机械产品的好坏,机器的使用性能、效率寿命和可靠性等有着重要的影响,因此有必要对它们的设计理论和方法进行专门的研究。

(3)专业机械的设计理论与方法 主要针对各类专业机械设计所涉及的设计理论和方法,如矿山机械设计、机床设计、内燃机设计、轻工机械设计等。由于各产业部门所采用的机械产品要求具有不同的工作原理,实现不同的功能,因此各专业机械的设计有其特殊性,必须依据各有关专业的生产工艺和技术,进行专门的深入研究。工程设计中存在着门类繁多的专业机械设计分支学科。

1.2 机械设计的原则和基本程序

1.2.1 机械设计的原则

机械产品因需求的功能不同,致使产品的种类繁多,结构形式也千变万化。设计者为使设计的机械产品具有良好的经济效益和市场竞争能力,在设计工作中应遵循如下基本原则。

(1)实用性原则 又称功能明确原则。主要表现为机器应具有明确合理的功能。设计者设计的机器都是为了满足社会和人们在生产和生活中的某种需要,俗称为实用性,具体表现为能完成一定的功能。所以,凡是不能满足功能要求的设计就不是一个好的设计,甚至可能是一

个失败的设计。因此,设计者对设计的机器具有的功能及其合理性应十分明确,并在设计过程中予以实现。在设计各阶段进行评价和决策时,也应把能否完成要求的功能放在首位。

为使产品能很好地体现所具有的功能,应合理地确定设计参数和相应的机械结构,这也是机械总体设计的主要内容。设计参数主要包括:性能参数、尺寸参数、重量参数、运动参数、动力参数以及经济技术指标参数等。机械结构设计是机械设计的重要内容,必须认真考虑机械产品的性能要求、使用条件、加工制造条件、外观要求和经济性要求等,使设计的构想成为一个能工作的实体产品。

(2)创造性原则 创造性设计是机械设计最基本的特点。设计者只有大胆创新,才能有所发明、有所创造、有所改进。任何一个机械产品的设计都包含继承和创新的成分,仅是程度不同而已。在继承时应特别注意现有的设计不一定是最佳方案,只有选择地吸收已有设计中的合理部分,才有可能使设计者集中主要精力去解决设计中的最主要问题,做到在继承基础上创新。在一般机械产品设计中,继承的特性常表现得更为明显,设计者不可能完全脱离前人的经验和积累的知识,凭空想出一个新的设计。因此,设计者应处理好创新和继承的关系。

机械设计与一般的工程设计一样具有多样性和相对性,可行的设计方案可能不是只有一个,设计过程可为设计者提供进行创造性设计的机会。

(3)优化原则 设计者初步判定的设计方案或模型常是原始的,并且有经验性的,必须经过推理、分析和计算,使设计成果达到当代科学技术的先进水平和该产品制造及使用条件的最佳水平,在技术、经济等方面,经全面分析和计算而达到最优化的结果。现代机械设计方法中的优化设计为此提供了具体的方法。设计过程是始终贯穿着优化的过程。设计者应在所要求的总功能目标和约束条件下,在众多的原理方案和设计参数中合理地选择优化目标,建立优化模型,采用相应的优化方法,经过计算和分析以期获得满意的结果。

(4)可靠性原则 可靠性是衡量机械产品质量好坏的一个重要指标。目前,可靠性设计方法已为机械产品设计所运用,它能保证产品在规定的工作条件下、在规定的服役时间内、完成规定功能的能力,这种能力可以用有关的可靠性指标来衡量,例如失效概率、无故障工作时间等。

(5)安全性原则 机械产品的不安全因素常会导致机械和人身事故,甚至造成重大的经济损失和严重的社会影响。在机械产品设计中必须贯彻安全性设计原则,其主要包括产品应具有足够的强度、刚度和必要的安全防护措施等;应根据人一机工程学原理使机器和人互相适应,创造舒适和安全的工作环境,从而提高工作效率;还应考虑机械与环境的关系,防止对环境的污染,即目前所提倡的绿色设计等。

(6)经济性原则 产品的经济性好坏是产品具有市场竞争力的一个重要方面,主要表现为在确保产品功能的前提下,尽力降低产品成本,提高经济效益。在设计中可采用合理确定可靠性要求和安全系数、贯彻执行标准化、采用新技术以及改善零部件的结构工艺性等措施。因产品设计与产品的制造、使用和管理等诸方面密切相关,设计中可采用价值工程的基本原则和分析方法,力求产品获得必要功能和最低的成本。

(7)评价审核原则 机械设计是一个复杂的工作过程,涉及到很多因素和方面,因而设计过程也是一种信息加工、处理分析、判断决策和修正的过程。为减少设计失误,实现高效、优质、经济地设计,必须对每一设计程序获得的结果随时进行评价和审核,决不允许不良的甚至是错误的信息流入下一个设计程序。实践证明,产品设计质量不好,很主要的原因是审核不严

造成的,因此适时而严细的审核是确保设计质量的一项重要原则。在设计进程中,应使评价审核做到规范化和制度化。

1.2.2 机械设计的基本程序

1. 机械设计的类型

机械设计按其创新程度可分为以下三种类型。

(1)开发性设计 在全部功能或主要功能的实现原理和结构未知的情况下,运用成熟的科学技术成果所进行的新型的机械产品设计。这类设计具有较强的创新性,它要求产品的主功能、主功能的工作原理、主功能载体的结构,这三者中至少有一项是首创的。例如,世界上第一台内燃机首次成功地实现了化学能向机械能的转化,第一台旋转活塞式内燃机又实现了内燃机主功能工作原理的更新,两者均属于开发性设计。

(2)适应性设计 在主功能的实现原理或者结构方案保持基本不变的情况下,增补或减少产品的某些功能,或局部更改某些功能的原理或结构,使产品适应特定的使用条件或者用户特殊要求所进行的设计。如为了满足低温、潮湿、盐雾、防爆等使用条件及要求,对产品进行的适应性设计。适应性设计是产品组合化的手段。

(3)变型性设计 在功能原理和结构都保持不变的情况下,变动产品部分零部件的技术性能和结构尺寸参数,扩大规格或补齐系列,以满足更大范围功能参数需要的设计,又称变参数设计。变型性设计是产品系列化的手段。

2. 机械产品的设计阶段

一个机械产品从开始构思到最终形成正规产品立足于市场,特别是对于开发性产品,在设计方面一般要经过功能原理设计、实用化设计和商品化设计三个阶段。

(1)功能原理设计 其任务是针对一定的功能要求,寻求一些物理效应,并借助某些作用原理,求得一些实现要求功能目标的科学原理。其特点是创新思维,多解评优。设计者要有新概念、新构思,可采取以新的物理效应代替旧的物理效应,引入新技术、新工艺和新材料等,使机器的工作原理或机器的品质发生根本性变化。

功能原理设计阶段的工作重点是:①明确设计任务要求的功能目标;②调查分析已有的功能实现原理;③创新构思,寻求更合理的解法;④初步预想实用化的可能性;⑤认真进行原理性试验。

(2)实用化设计 其任务是使原理构思转化为能实际使用的机器,完成总体设计、部件和零件设计,以及从设计到制造施工的全部技术文件和资料。

实用化设计阶段的工作重点是:①总体设计,包括确定工艺方案和基本参数,绘制机械运动简图、机器工作循环图和机器的设计总图等;②结构设计,包括确定机器的总体布置,确定零部件的形状、尺寸、装配关系、材料和加工制造要求等。

(3)商品化设计 其任务是保证产品不仅在技术上可行,而且在市场竞争中也能取得成功。商品化设计的核心是功能原理的新颖性,基础是产品技术性能的先进性,包装是市场要求的适应性。需对设计策略、销售策略和经营策略进行全面考虑。

商品化设计阶段的工作重点是:①实现性能的实用性变化,包括适应不同使用条件、开发新的用途、增添附加性能等;②零部件标准化、性能尺寸规格系列化、非标准零部件通用化和零件结构模块化等;③产品的工业艺术造型设计;④产品的价值分析等。

3. 机械设计的基本程序

根据机械设计的进程,其基本程序可以分为设计规划、方案设计、技术设计和施工设计四个阶段,如图 1-2 所示。

(1)设计规划 机械设计首先必须明确任务和要求。设计规划阶段的主要任务是在深入调查研究的基础上,对所开发的产品进行需求分析、市场预测和可行性分析,提出进行产品开发生计设计的可行性报告,其主要包括下述内容:

- ①产品开发的必要性和市场需求预测;
- ②有关产品的国内外水平和发展趋势;
- ③预期达到的目标,包括设计水平、技术特点、经济和社会效益等;
- ④提出设计和制造方面所需解决的关键问题;
- ⑤现场条件下开发产品的可能性及准备采取的措施;
- ⑥预算投资费用及项目的进度和期限。

经对可行性报告充分论证后,决定产品可以进行开发设计时,随即要提出设计任务书,列出产品要求实现的功能和各项设计要求。

(2)方案设计 就是新产品的功能原理设计,即在功能分析的基础上,通过创新构思、优化筛选,最后能获得较为理想的功能原理方案。产品功能原理方案的优劣,决定着产品的性能和成本,关系到产品水平和市场竞争能力,是方案设计的关健。

方案设计包括产品的功能分析、功能原理解、方案的综合及评价决策,最后得到一个优化的功能原理方案,并绘制产品的原理方案图或初步总体方案图。

(3)技术设计 其任务是将功能原理方案具体化,寻求机器及其零部件的合理结构。此阶段要完成产品的总体设计、部件的结构设计(包括构形、确定材料和尺寸等),并绘制装配草图。

(4)施工设计 其主要内容是完成产品制造所需的全部图样和技术文件,其中包括由总装草图分拆的零件图,绘制全部生产图样;再经审核后的零件图和部件图,绘制出总装图;编制各类技术文件,如设计说明书和计算书,标准件、外购件、备用件和专用工具明细表,产品试车大纲和验收大纲,包装和运输设计等。

上述机械设计的基本程序可以根据具体设计产品的复杂程度或实际情况予以取舍或增减。

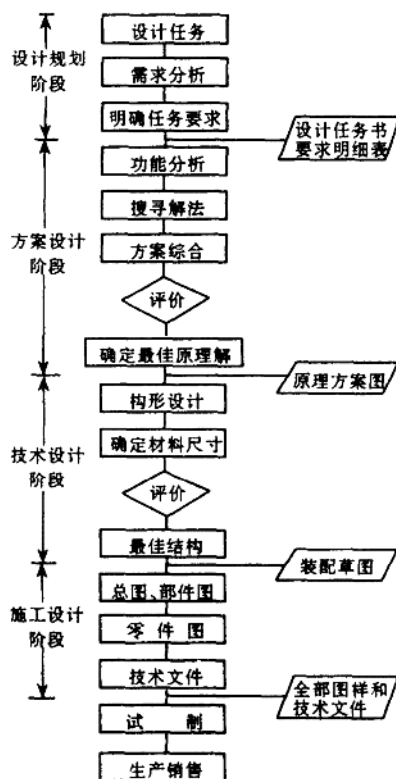


图 1-2 机械设计的基本程序

第2章 机械的功能原理方案设计

2.1 机械的分类与功能组成

2.1.1 机械的分类

随着科学技术的发展,新设备不断涌现,机械的类型越来越多,这就给机械的分类带来一定的困难。分类可以从不同的角度出发,分类方法也是多样的。

传统的分类方法是按产业划分,例如:农业机械、林业机械、矿山机械、冶金机械、化工机械、造纸机械、食品机械、纺织机械、工程机械、交通运输机械、物料搬运机械、橡胶机械、塑料机械等。

按服务领域又可分为如下五大服务领域的机械。

(1)能量转换机械 包括将热能、化学能、原子能、电能、流体压力能和天然机械能转换为适合于应用的机械能的各种动力机械;以及将机械能转换为所需的其他能量(电能、热能、流体压力能、势能等)的能量变换机械。

(2)生产各种产品的机械 包括应用于第一产业的农、林、牧、渔业机械和矿山机械等。

(3)从事各种服务的机械 包括交通运输机械、物料搬运机械、办公机械,各种工业机器人(机械手)、医疗器械、通风、采暖和空调设备,除尘、净化、消声等环保设备。

(4)家庭和个人生活中应用的机械 如洗衣机、冰箱、钟表、照像机、运动器械、家用机器人、假肢、假腿、自行车、轮椅等。

(5)各种机械武器 如枪支、大炮等。

机械的另一种分类方法是按功能来进行分类,从功能的观点看,可分为工艺类机械和非工艺类机械两大类。对物料进行工艺性加工的机械属于工艺类机械,这类机械具有专用的工作头,如轧钢机的轧辊、孔型,切削机床的刀具,电锯的锯条等,并用工作头对相应的物料进行工艺性加工。非工艺类机械则不对任何物料进行工艺性加工,只是实现某种需求的功能。

工艺类的机械包括:金属冷加工设备、金属热加工设备、矿石破碎机械、矿石粉磨机械、食品机械、橡胶机械、木工机械等。非工艺类机械包括:交通运输机械、物料搬运机械、动力机械,各类阀门、泵、压力容器等。

按工艺分类,有些机械也不好分,如医疗机械一般来讲应属于非工艺类,但其中有的设备是属于工艺类的,如牙钻等。所以说任何分类方法都有科学性,也都有局限性,从设计角度应寻找共性来分类,如功能的共同特性、结构方面的共同规律、工作时的行为特性等,这样便于构思和创新。例如食品机械的面片压延机、橡胶机械和塑料机械中的压延机,冶金机械中的钢板轧机,如按产业分类,它们分别属于不同的产业。如从共性看,它们的功能相同,都是使物料成为片状;从结构形式看,它们的工作头都是圆柱形辊子;从工作时的行为特征看都是滚压。所以说按功能分类,有利于设计构思和创新,也容易使不同产业机械的机构和技术相互转移和流动。

从制造角度看,以上几种设备在一个工厂生产就不合适了,因为这几种设备在强度、刚度、尺寸上及控制系统的差异都很大,所需的加工设备也不相同,若放在一个厂里制造,不容易形成专业化生产,经济上不合算,所以从制造的角度看按产业划分比较有利。

2.1.2 机器的功能组成

机器(一般指带有动力装置的机械)给人们带来的只是一种功能,机器本身只是一个功能载体,同一个功能可以从不同载体(机器)上获得,只有从功能的观点来观察和分析机器,人们的思想才能从旧的结构和形式中解放出来,探索新的原理,构思新的结构,设计出更好的机器。例如手表的功能就是显示时间,过去都是机械表,虽然加工精度不断提高,走时误差还是较大,近些年来石英电子表出现了,其工作原理改变了,相应结构简单,走时准确,成本也低廉。所以说获取一个功能(即制造一个机器),应结构越简单、成本越低越好。

一台机器完成的功能通常称为总功能,如切削车床的总功能是移动的刀具对旋转工件进行切削的功能。为了实现总功能,至少要有两个分功能的相互配合动作才能完成,一是工件旋转功能,二是刀具进给功能,除此而外还应有工件冷却(加切削液)功能等。所以说机器的总功能由多个分功能组成,而每个分功能都有相应的功能载体。分功能载体应由原动机,传动机构、工作头或执行机构、控制器等组成。有的分功能与其他分功能也可共用一个原动力或传动机构。机器的功能组成如图 2-1 所示。

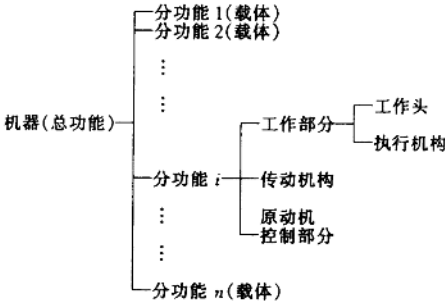


图 2-1 机器的功能组成

2.2 机械功能分析方法

2.2.1 机械的功能、功能元和功能结构

1. 功能

功能是针对某一机械产品工作能力的抽象化描述,它和人们常用的功用、用途、性能、能力等概念既有联系又有区别。例如洗衣机的这些概念有图 2-2 所示的关系。

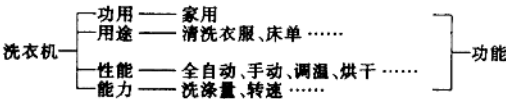


图 2-2 洗衣机的功用、用途、性能、能力和功能间的关系

洗衣机的功能为使衣物中污垢从纤维中分离出来。

由此可以看出,“功能”是指一个机器(或装置)所具有的应用特性。

系统工程学把一个机械产品看成技术系统,在设计初期时该技术系统还不清楚,故用“黑

箱”来描述功能:把信息流、能量流、物料流输入“黑箱”,在“黑箱”中转换成新的信息流、能量流、物料流,然后输送出来,如图 2-3 所示。

功能的定义是一个技术系统在以实现某种任务为目标时,其输入量和输出量之间的相互转换的关系。

设计者的任务就是使“黑箱”变成“白箱”,这个技术系统就设计出来了,获得了一个完美的机械产品,实现了预定的功能。

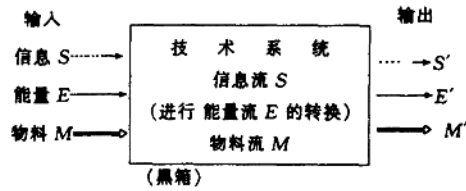


图 2-3 用“黑箱”描述技术系统的功能

2. 功能单元

一般技术系统都较为复杂,直接求总功能的解比较困难,可对总功能进行分解,分解成较为简单的“功能单元”。这样的功能单元具有一定的独立性,是直接求解的功能单元,也可称为“功能元”。

例如对材料拉伸试验机的功能分解可用图 2-4 所示的形式表示。

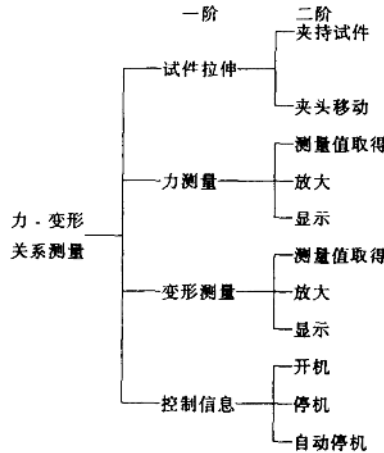


图 2-4 材料拉伸试验机的功能分解

直接实现总功能的各分功能称为一阶分功能;实现一阶分功能的分功能称为二阶分功能,并以此类推。

分解到末端的为功能元,如夹持试件、夹头、移动等。

3. 功能结构

从上述材料拉伸试验机采用的力-变形关系测量的例子中可以看出,总功能(力-变形关系测量)可分解为四个分功能(试件拉伸、力测量、变形测量、控制信息),每个分功能再分解,直至功能元。

将各分功能(或功能元)组合时有三种基本结构形式,如图 2-5 所示。图中 F_1 、 F_2 和 F_3 为分功能。

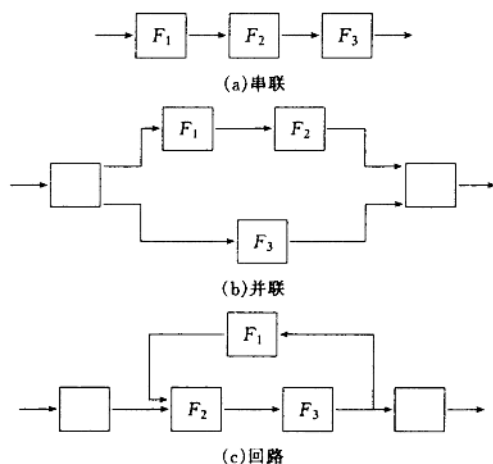


图 2-5 功能结构

- (1) 串联: 各分功能按顺序相继作用;
- (2) 并联: 各分功能并列作用;
- (3) 回路: 各分功能组成环状循环回路, 体现反馈作用。

从以上分析可以画出材料拉伸试验机的功能结构图。图 2-6 表示是用“黑箱”描述材料拉伸试验机的总功能。图 2-7 表示材料拉伸试验机功能(一阶)结构图。图 2-8 表示材料拉伸试验机功能(二阶)结构图。

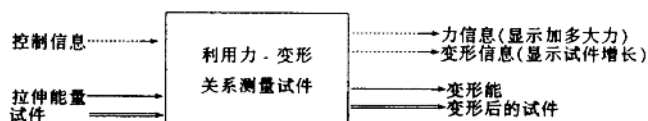


图 2-6 材料拉伸试验机的总功能

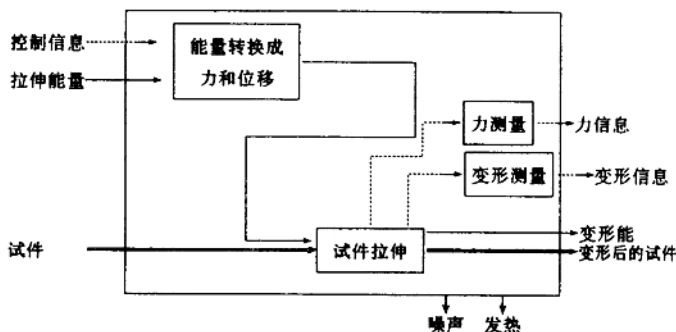


图 2-7 材料拉伸试验机功能(一阶)结构图