

机械设计学

鲁明山 刘丽春 缪群华

北京航空航天大学出版社



TH122
L34

机械设计学

鲁明山 刘丽春 缪群华

北京航空航天大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械设计学/鲁明山等编著. -北京:北京航空航天大学出版社,1995.12

ISBN 7-81012-612-1

I. 机… II. 鲁… III. 机械设计-理论 IV. TH122

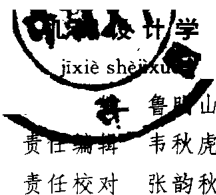
中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 22873 号

内 容 简 介

本书参照机械设计及制造专业教学指导委员会发下的教学计划和教学基本要求,根据航空航天部 1993~1995 年教材建设规划选题及编写大纲而编写的。

全书共八章,内容有:绪论;机械的功能原理设计,实用化设计,商品化设计;机械的优化设计,可靠性设计,机械的动态分析与设计,相似设计及设计中的模型试验。

本书可作为高等工科院校机械设计及制造专业的教材,也可供其他机械专业师生及机械工程技术人员参考。



北京航空航天大学出版社出版 邮编 100083

北京航空航天大学出版社发行科电话 2015720

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

北京密云华都印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张:12.75 字数:323 千字

1995 年 12 月第一版 1995 年 12 月 第一次印刷 印数:3000 册

ISBN 7-81012-612-1/TH·022 定价:10.5 元

前 言

随着科学技术的迅速发展,当前对机械产品有更高和更严格的要求。机械设计是形成产品的至关重要的环节,日益受到重视。近年来在国际和国内对机械设计的理论和方法,开展了很多研究和总结,尤其对现代设计技术的规律性作了大量的探讨。我国在高校内设置了机械设计及制造专业,以培养急需的新一代机械设计人材。这对提高设计队伍的素质,提高机械产品的设计质量,推动机械设计的科学化、现代化都起到了极为重要的作用。

“机械设计学”是机械设计及制造专业教学指导委员会规定的专业主干课,是一门全新的课程。在近年教学实践积累基础上,研究和参考了已有的文献和教材,尤其是清华大学等院校合编的机械设计学给了很大启示,按航空高校机械工程教材规划精神,为教学需要编写了这本机械设计学教材。

本教材围绕影响机械产品质量和竞争的三个主要内容——功能原理设计,实用化设计和商品化设计而展开,并对支持这些内容的设计理论和设计方法作相应地介绍。力求为学生在创新的设计构思上,在将原理构思有效地转化为高质量、有实用性和竞争力的产品上能够得到能力的提高,打下一定的基础。

由于机械设计学涉及面很广,又是一门新开的课程,又由于编者水平所限,因此对书中存在的不妥之处,恳请批评和指正。

参加本书编写的有:西北工业大学刘丽春第四章和第七章;南京航空航天大学缪群华第三章和第五章;北京航空航天大学鲁明山第一章、第二章、第六章和第八章。由鲁明山主编。

本书承北京理工大学彭荣济教授主审,他提出了很多宝贵的修改意见,在此致以谢意。

编 者

1995 年 10 月

目 录

第一章 绪 论

第一节 机械与机械设计	(1)
第二节 机械设计的类型及设计过程	(2)
第三节 机械的功能原理设计、实用化设计和商品化设计	(4)
第四节 传统设计和现代设计	(5)

第二章 机械的功能原理设计

第一节 功能原理设计中的创造性思维	(8)
第二节 功能原理设计任务、功能单元和功能结构	(9)
第三节 功能类型及求解思路	(14)
第四节 功能原理设计的要点	(20)

第三章 机械的实用化设计

第一节 总体设计	(23)
第二节 机械的总体布置	(24)
第三节 机械总体方案设计	(31)
第四节 机械结构设计	(39)
第五节 结构件的功用及基本类型	(40)
第六节 结构方案设计	(42)
第七节 结构设计的强度和刚度问题	(52)
第八节 结构设计中的工艺问题	(63)
第九节 材料选择	(71)

第四章 机械的商品化设计

第一节 市场竞争和机械商品化设计	(75)
第二节 机械产品造型设计	(76)
第三节 价值优化设计	(86)
第四节 产品的标准化、系列化、模块化设计	(100)
第五节 产品性能适用性变化	(101)

第五章 机械的优化设计

第一节 优化设计的基本知识	(103)
第二节 优化设计方法	(107)

第三节 优化设计实例.....	(117)
第六章 机械的可靠性设计	
第一节 可靠性定义与可靠性尺度.....	(124)
第二节 可靠性的概率基础.....	(128)
第三节 可靠性的数学模型.....	(134)
第四节 机械强度的可靠性设计计算.....	(140)
第七章 机械的动态分析与设计	
第一节 结构动力分析建模方法.....	(154)
第二节 机械动态设计的模态分析法.....	(164)
第三节 机械动态设计的模态综合法.....	(169)
第四节 机械动态设计过程.....	(170)
第八章 机械的相似设计及设计中的模型试验	
第一节 相似与相似比.....	(180)
第二节 相似指标和相似准则.....	(182)
第三节 相似三定理.....	(189)
第四节 相似设计要点及相似性参量计算.....	(184)
第五节 相似比方程和相似准则的计算与应用.....	(189)
第六节 设计试验中的相似性处理.....	(194)
参考文献	

第一章 绪论

第一节 机械与机械设计

机械是依据力学原理组成的各种装置或设备,它在人们的生产与生活中被广泛地使用着。一般将完成做功的各种具体机器和以传递力与运动的各类机构总称为机械,可见机械是带有更广义的称谓。从传递能量做出有用功这个主要的机械功能来看,机械与机器有共同性,所以机械与机器有时被混称。由功能的不同,结构的繁简,规模的大小及机械所服务的专业特点差异,机械可以分出多种分支或类别。如按各大产业的专门技术特性之不同,可将机械分为:农业机械、矿山机械、纺织机械、航空机械、仪表机械、动力机械、轻工机械、建筑机械等。这些专业分支机械虽然其功能、特点,甚至结构外形都有其明显的特性,但是它们又有许多共性。例如所选用的材料、驱动装置、执行传动的机械、力与能的传递和变换、运动规律、润滑与密封、强度与刚度的要求、工艺性、可靠性、效率和经济性、典型结构等,都有很强的通用性或技术共性。

根据使用的功能要求,经过对机械的工作原理、机构和结构的确定;运动、力和能量传递的计算;驱动装置的选取;材料的选定;形状和尺寸的确定、对相关因素和相互影响的周密分析与核算等,最终将构思的方案转化成具体的图文描述并形成设计文件,以作为制造的技术依据,此工作过程即为机械设计。

机械的产生和存在是以满足需求为目的。在满足需求的前提下,研制出一部机械并有效地使用,一般要经过设计、制造、试验、销售、维护和改进等很多环节,其中设计是首要环节,也是最基本的环节。没有设计就没有以后的制造和使用。工厂生产某机械产品,组织生产的基本依据就是设计,如材料、加工工艺、加工精度、加工设备、生产工时、车间的布局、成品的存储和运送等等,都要根据设计来确定。

生产出的机械产品,其工作质量和性能如何,主要也是在设计阶段决定的。如一部汽车的行驶速度、载重量、灵活(机动)性及制动性、耗油量、条件适应性及总行程能力等,在很大程度上设计中就确定了。另外,产品的制造成本、运行费用也主要由设计所决定。据统计表明,产品的成本有75%~80%是设计阶段所决定的。如内燃机的燃烧室或燃油系统设计不当,就会使油耗增加,运行经济性下降。由此可见,机械设计有着重要的技术和经济意义。

机械是综合性很强的产品,机械的性能与很多因素相关,由于机械的复杂性构成了机械设计的复杂性,因此要求设计者应有广博的知识和扎实的技术基础。随着生产发展,技术的先进,不断需求新的机械出现,设计不仅仅是新机械产生中的重要环节,也不仅仅是不可少的例行工作,设计本身就意味着构思、创新、探索合理性、追求先进性和体现科学性,因而设计是一种创造性劳动。

机械设计是满足人类社会日益增长需要而进行的复杂和创造性劳动,它和生产、生活及其未来密切相关,所以人们对设计工作愈来愈重视。设计的重要性主要表现在以下几个方面:

1. 设计全面影响产品的性能,设计中的失误将造成极严重的损失。

机械的性能参数、工作过程和质量指标等都是由设计最终确定下来,可以说产品的水平主要地取决于设计水平。而设计的失误、缺陷、甚至考虑问题不细致全面,都会导致灾害性结果。如果对产品使用不当或由于制造或装配中产生问题,所造成的不良后果还是可以再补救或修复的,是局部性和偶然性问题;而设计本身就存在问题,则不良影响是根本性或全局性的,所造成的后果较难以弥补。例如汽车发动机设计时的耗油量指标就较落后,造成使用时燃油浪费。要进行改善,除改变原设计或更换发动机之外,其它办法则很难。

2. 设计对企业的生存和发展具有重大意义

产品生产是企业的中心任务,而产品的竞争力影响着企业的生存与发展。产品的竞争力主要在于它的性能和质量,也取决于经济性。而这两个因素都与设计密切相关。例如1980年石油危机,西方汽车大量积压,企业停工,而日本汽车却能较好地销售,原因在于日本汽车耗油量小,价格便宜。

3. 设计直接关系到人类的未来及发展

社会在发展,所设计的产品要紧跟时代步伐,有一定的预见性,尤其是影响面较大的产品,能够加速促进技术进步。第一台蒸汽机的出现引起世界性的工业革命,使1770~1840七十年中英国的工业生产率提高了20倍。当前很多发明和新技术的出现,也相应渗入机械领域,迅速地改变着机械的面貌,如激光技术、核动力、信息技术、计算机技术及机电一体化等引入到机械,大大提高了机械工业的水平。因此机械设计应着眼于未来,适应技术发展,同时也应努力促进技术发展。

第二节 机械设计的类型及设计过程

按照机械产品开发的内容之差异,机械设计有如下四种类型:

1. **开发性设计** 按照需求目标设计过去从未有过的新型机械,这是一种全新的设计。例如第一台蒸汽机车的设计就是完全创新的开发性设计。

2. **适应性设计** 在已有的原理方案基础上,为适应已变动了的工作要求,对产品的局部做适当地变更,或增设某种新部件,使产品扩大功能而满足新的使用要求。如内燃机增设一个增压器,使输出功率增大;增加一个节油器,达到节约燃料之目的,这均属适应性设计。

3. **变型设计** 保持已有的工作原理和功能结构不变的基础上,仅改变结构配置和尺寸,按新的需要作新的布局或变更尺寸参数。如将台式电风扇改设为落地式电风扇,即属变型设计。又如按新的转矩或速比要求,在保持减速器工作原理情况下,重新改设传动系统的尺寸参数。

4. **组合选型设计** 根据原理方案要求,或在已有的部分结构基础上,按市场或企业现有的零、部件作选取,进行有效的组合,从而得到新的组合结构形式。如液压系统设计,即按原理和参数要求,大量选用标准元器件进行组合。

以上四种类型设计中,开发性设计难度最大、设计周期较长,其它三种类型设计较开发性设计容易些,设计过程也较短。第4种类型设计,其主要目的是充分利用已有条件,使设计快速、简化。为很好地进行组合选型设计,要求零、部件的标准化、系列化、模块化工作应很完善。在工程实践中,为充分发挥现有机械的潜力,或扩大机械的功能,适应性设计和变型设计就显得很重要。开发性设计固然较难,但充满了创新活力,随着生产发展及市场竞争的需要,产品应

不断更新换代,所以作为一个远见卓识的设计者,对开发性设计应该引起极大的重视。

表 1-1 机械设计的阶段和步骤

阶 段	设 计 步 骤	工 作 目 标
可行性研究阶段	需要和水平分析、调研	选题及设计任务书
	先行试验和可行性研究	可行性方案
	明确设计任务要求	
初步设计阶段	功能分析、方案构思和优选	技术任务书
	评价和审定	总装配、部件草图
		原理方案图
技术设计阶段	总体与零、部件构形及布局	性能参量初算
	选材料、定结构尺寸	
	评价和审定	
	零件图设计	零件图
	部件和总装图设计	部件图
	计算与校核	总装配图
	编写技术文件	设计、计算说明书
	试制、试验	
	鉴定	
	改进设计	
改进设计阶段	小批生产、试销	样机
	产品定型、批量生产	改进设计图
生产	销售、使用信息	试验结果
使用		产品
		信息

机械设计的全过程大致可分如下四个阶段：

1. **可行性研究阶段** 对产品的预期需要、工作条件和关键技术进行充分而细致地分析研究,通过大量调研和信息掌握,明确任务要求,提出功能性的主要设计要求参量。同时也作成本和效益的估算,论证设计的必要性、先进性和独特性,提出可行性设计方案。此阶段对后边的设计过程起着指导性作用。

2. **初步设计阶段** 在确定设计任务后,根据任务要求寻求功能原理的解法,作原理方案的构思。在此过程往往通过问题的抽象化,找出功能关系,拟定功能结构,确定出解决的途径。无论任务是全新的开发性设计还是变型或组合性设计,都需要创新,也都需要充分运用已有的设计经验和研究成果。此阶段中应从几种可行设计方案中优选出最佳方案。

3. **技术设计阶段** 在设计方案的目标下,完成总体设计及零、部件的结构设计。技术设计可理解为方案的结构化,从技术和经济观点作周密的结构设计和计算。要完成全套的零件图、部件图和总装配图,编制技术文件和技术说明。

4. **改进设计阶段** 根据加工制造、样机试验、技术检测、使用操作、鉴定分析和市场反馈信息等各环节所反映出的问题,进一步对产品作改进或技术处理,以确保产品质量并完善前期设计之不足。

经过上述四个设计阶段,即完成了机械设计的全过程。作为机械产品即可投入试生产或批量生产,并进行销售和使用。

根据机械设计四个阶段的内容,又可划分出主要的设计步骤。如表 1-1 所示。在各个步骤之间可以有反馈,其目的在于循环反复地对比和改进、协调设计,达到最优的总体性能。

第三节 机械的功能原理设计、实用化设计和商品化设计

在我国经济和工业发展的新形势下,市场竞争激烈,用户对机械产品的要求越来越高,不仅要不断地实现和扩大新的功能要求,而创制出新产品,还要求结构合理、技术先进、工作可靠、成本低、效益高。此外,还要求方便操作和维护,具有美观的造型和色彩等。所以机械设计是一个多目标的综合优化过程。机械产品在国内和国际市场上需具备强的竞争力,产品才能站住脚。在这种形势要求下,机械设计的主要内容又可分为三个方面,即:**功能原理设计、实用化设计、商品化设计**。三个方面有相对的独立性,相互之间也有紧密的联系和影响。下面概要介绍这三方面的设计特点。

一、功能原理设计

功能原理设计是凭借自然科学原理,并由技术效应出发,根据功能要求,通过创新构思和优化筛选,找出最适宜实现预定功能目标的原理方案。为此,可借鉴已有的设计成果和设计经验,结合创造性思维和方法的运用,把设计要求通过功能关系抽象为简单模式,或层层求解,或综合求解,得出可行的原理方案。

功能原理设计强调创新、构思。在开始阶段,需把问题作抽象处理,把基本功能要求和主要的约束条件明确出来,以利于集中针对主题方向而方便于求解。在方案构思中,常以简图或示意图来表达思维,至于具体结构、材料、尺寸等细节,可暂不必做成熟考虑。功能原理设计往往辅以模型试验,验证或观测设计构思的正确性和可行性,并找出问题所在以便重点突破和解决。设计者也能从试验中得到一定启示,联想出改进的新途径或产生另一种全新的构思。

功能原理设计中,不可避免的要失败,但重要的是从失败中得到启发和提高。在构思中应由分散到集中,在多解的思路中寻求最优解。

二、实用化设计

由功能原理设计的原理思路和方案变成能够实用的具体机械,还需进行结构设计,所以实用化设计的目的是将原理方案结构化。须作机械的总体布局,零部件的结构及工艺性,动力、刚度、强度、运动、热温等设计计算,标准化规范,以及解决相关的一系列外围问题(如工作环境,维护保养,运输存储等)。通过实用化设计使产品达到实用的要求。实用化设计与前面述及的技术设计阶段关系最紧密,涉及到材料、工艺、精度、计算方法、实验与测试、驱动与控制及工程图等学科技术,是一项复杂的综合性工作。由于多种性能因素的相关影响,造成设计工作的交叉多变,有时需循环往复地进行。因此实用化设计过程也是一个由初步设计到详细设计的逐步精化过程,在过程中需作更多的分析、对比和校核,及大量的计算和修改。最终要设计出具体实用的机械总装配图和全部零件图。

实用化设计中,在确定尺寸、选材、结构等方面都存在合理性判别问题,也有许多须创新的成分,设计者应精心研究和处理。在实用化设计中也可配合开展局部或特殊情况的试验,以取得功能目标实现的依据,或获取重要性能指标参数,发现问题及时得以解决。

三、商品化设计

从市场观念看,机械产品也是商品,产品只有在市场竞争中获得成功,才会给社会带来效益。为使产品在市场上受到欢迎,必须在技术、经济和社会三方面评价上具有优势,因此设计者在设计中就须采取必要的商品化措施,以提高产品的评价。侧重于考虑商品化措施的设计,称为商品化设计。商品化措施主要包括产品性能的适应性,标准化、系列化及模块化,产品的工业设计,产品的价值工程。

第四节 传统设计和现代设计

古代人们在劳动和生活中通过观察、体验和模仿,从自然现象中得到启发,凭直观感觉而制作出工具或器具。经过相当长的经验积累和摸索,逐渐由实物制作过渡到模型试作,用模型来表达构思,也用模型作改进的探讨,有时也辅以简单的图形,这就开始了设计的初始阶段。

17世纪以来,数学与力学的发展和结合,人们又上升到运用经验和数学计算来解决设计中某些问题的时代。18世纪(工业革命)到19世纪是科技发展的重要时期,出现了较多的复杂机械,但此时还没有形成系统的设计理论和方法来指导机械设计。借助图纸进行设计是在20世纪初期才形成,此时的设计较多的还是依靠才能和经验,运用一些基本的设计计算,也借助于类比、模拟和试凑等方法。因此产品的完善周期较长,从发明到实际成功地应用,往往需要几十年或上百年。随着科技发展和设计方法的形成及设计理论的充实,产品完善周期也逐渐缩短。如蒸汽机从发明到应用经历了100年;电动机用了37年;电子管用了31年;汽车用了27年;电视机用了12年;晶体管用了5年;近代的激光技术仅用了1年。

本世纪以来,对设计的基础理论研究得到加强,随着设计经验的积累,及设计和工艺的结合,已形成了一套半经验半理论的设计方法。依据这套方法进行机械设计,称为传统设计。所谓“传统”是指这套设计方法已沿用了很长时间,直到现在仍被广泛地采用着。

传统设计是以经验总结为基础,运用数学、力学等计算公式,参照制定的图表和设计手册,

应用统一规定的标准和系列,再加上技术难点的突破和对已有成品的类比进行设计。传统设计在长期运用中得到不断的完善和提高,是符合当代技术水平有效设计方式。但由于所用的计算方法和参考数据尚偏重于经验的概括和总结,往往忽略了一些难解或非主要的因素,因而造成设计结果的近似性较大,也难免有不确切和失误。此外,在信息处理、参量统计和选取、经验或状态的存储和调用等还没有一个理想的有效方法,解算和绘图也多用于手工完成,所以不仅影响设计速度和设计质量的提高,也难以做到精确和优化的效果。传统设计对技术与经济、技术与美学也未能做到很好地统一,使设计带有一定的局限性。这些都是有待于进一步改进和完善的不足之处。

60年代以来,计算机的应用和普及,给机械设计带来了新的变化。科技发展,新工艺、新材料的出现,微电子技术、信息处理技术及控制技术对机械的渗透和有机结合,与设计相关的基础理论的深化,都给机械设计开拓了新途径,使机械设计跨上了现代设计的水平。现代设计不仅指设计方法的更新,也包含了新技术的引入和产品的创新。现代设计的主要特点表现为以下几方面:

- (1) 设计对象由单机走向系统;
- (2) 设计要求由单目标走向多目标;
- (3) 产品更新速度加快,要求设计速度加快;
- (4) 设计的发展要适应科技发展,特别是适应计算技术发展和先进的工艺水平。

60年代以来,主要的先进工业国家都采取措施加强设计工作,开展设计学和设计方法学研究。如德国慕尼黑大学的 Rodenacker 教授在设计方法学上做了大量工作,为设计技术的提高贡献了力量。70年代以来国际性工程设计会议 ICED 多次召开,对设计理论和设计技术的发展起到很好的推动作用。我国机械工程学会机械设计学会于1981年首次参加了 ICED81 罗马会议,相继展开了多种设计学的研究活动。

值得提出的是计算机辅助设计(CAD)的出现和应用,使设计节省了大量计算和制图的工作量,使设计周期大大缩短,能高效地进行方案和参数的对比、选择、优化与决策。利用计算机建立的专家系统,各类设计要求所对应的众多答案及经验效应均能够以数据库形式存入计算机,供设计时检索、调用和组合。一体化的 CAD/CAM 技术可直接输出信息,由 NC 机床随即进行加工制造出产品。这一切使得人们不得不重新认识设计,研究设计的理论和技术。

科技成果不断引入机械设计中,导致了机械产品的功能原理扩大和进化。当前微电子技术和信息处理技术的发展,对机械产品起着很强的影响作用,使机械产品由传统状态发生了质的变化,更有效地解决了向高效能、自动化、综合化、柔性化和智能化大步发展的问题。初步已形成了机电一体化技术,使机械产品在自动检测,自动数据处理(采集、运算、判别、存储、记忆),自动显示,自动控制与调节,诊断和保护等功能方面得到极大完善。因而要求机械设计者应视野宽阔,技术全面,更好地适应机械设计中机电结合的必然发展趋势。

现代设计是在传统设计基础上发展起来的,它继承了传统设计的精华。由传统设计发展到现代设计有时序性和继承性,当前正处在共存性阶段。

现代设计方法和设计技术尚处于起步阶段,远未达到成熟完善的程度,传统设计仍在起着应有作用,因此要求设计人员在熟练掌握传统设计技术的同时,也要不断注重和应用现代设计技术,钻研新方法和新理论,使机械设计上升到新的水平。

思考练习题

- 1-1 设计的重要性主要表现在哪几方面？
- 1-2 机械设计的四种类型各是什么？各举出一个例子说明之。
- 1-3 机械设计的全过程可划分哪四个阶段？每个阶段中的主要设计工作内容是什么？
- 1-4 机械设计可分三个方面的主要内容，各是什么？
- 1-5 现代设计有哪些主要特点？
- 1-6 既有现代设计方法为何不立刻抛掉传统设计方法？

第二章 机械的功能原理设计

机械设计的最初阶段,要针对产品所应具有的功能进行原理性的设计构思,提出设计方案。这部分设计内容和过程,称为功能原理设计。

例如,要设计一个点钞机,先要构思将钞票逐张分开。图 2-1 所示为实现钞票分张的功能原理设计的构思示意图。

进行原理构思时,首先要考虑应用何种物理效应,如图 2-1 所示,可利用推刮 1,摩擦 2,离心力 3,重力 4,粘力 5,气吹 6,气吸 7 等力学效应和电磁效应 8。然后利用某些作用原理(如图所示的移动刮刀,转动轮的摩擦,转动架的甩纸,气咀的吹吸等),达到实现功能目标的设计结果。

功能原理设计对机械产品成败起着决定作用。好的功能原理设计总是充满创新构思,所设计出的产品具有突出的功能特色。在产品的市场竞争中,创新的功能原理总具备着潜在的价值。

第一节 功能原理设计中的创造性思维

人类的精神与物质财富都是建立在创造的基础上,社会进步和生活水平的提高也是创造性劳动的结果。人类具有创造性思维并进行创造性劳动,是与动物的最大区别。中华民族是智慧的民族,历史上有许多发明创造用来造福人类。除众所周知的造纸、火药、指南针三大发明之外,如公元 132 年东汉张衡发明地震仪举世闻名;公元 3 世纪名医华佗的中药麻沸散,比西方的麻醉剂早 1000 多年;风筝、雨伞、算盘等都是我国的首创。创造并不神秘,也非居高莫及,人人都有创造或创新的能力,只要刻苦、勤奋、探索和实践,就能获取或大或小的创造性成果。发明家爱迪生说“天才,就是一分灵感加上九十九分汗水”。如果没有 99% 的积累,就不可能有 1% 的飞跃。

创造性思维具有独创性、连动性、多向性、综合性等特点。

1. **独创性** 具有与前人和众人不同的独特见解,能突破一般思维的常规惯例,或改变更新固有状态。思维的独创性结果会引出新原理,新模式或新方法。例如电开关,许多年一直是机械式的结构。随新技术的运用,现在创新出触模式、感应式、声控式及光控式开关。功能原理设计上的创新和突破,为技术和生活带来新局面。又如近年新开发的混凝土搅拌车,这种车从料厂装料后,在运输路上即进行加水搅拌,到达工地后即可立刻使用拌好的“水泥”,在建筑行业中很受欢迎。这是一项新工作模式的突破,效率高、效果好,比原有搅拌器有更大的移动灵活

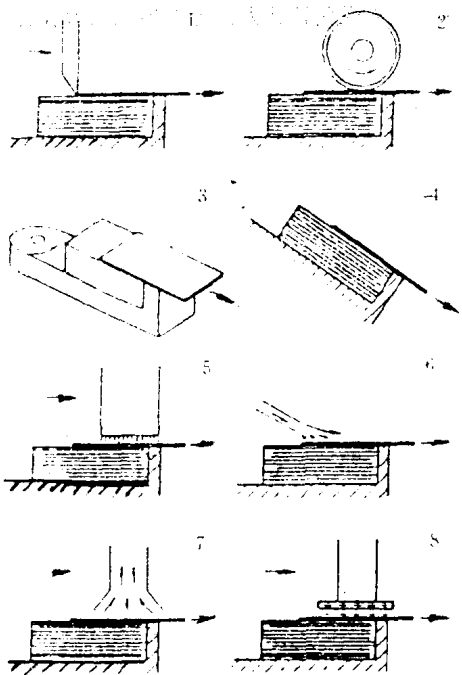


图 2-1 钞票分张功能原理构思图

性并减少了装卸料的工序。

独创性思维具有求异性,敢于向“完美无缺”的事物提出怀疑,敢于向陈规旧习挑战,敢于否定思想上的“框框”,勇于从新的角度分析和寻求。独创性思维就是一种通过突破求异而探索新途径的思维。

2. **连动性** 由此及彼的思维引导人们由已知来探索未知。连动思维有纵向、横向和逆向三种连动形式。

纵向连动针对问题或现象向纵深思考,追根溯源,从探寻事物的原因和本质得到新的启示。例如俄国车工邱吉柯夫发明的摩擦焊接法,是从用硬质合金车刀切削工件中突然降速停车,产生工件与刀刃粘连的事故得到启发。

横向连动从一现象联想到相关的事物,进行特征转移,从而进入另一个新领域。例如面包的多孔松软的特点,作横向连动的特征转移,开发出塑料海棉,充气孔混凝土等新产品。

逆向连动思维是针对某现象或解法,分析其相反的过程或作用,即从顺推到逆推,从相反角度探寻新的求解途径。例如英国物理学家法拉第,把已有的电流产生磁场的原理,从相反方向分析研究,按磁场产生电流的设想,提出了电磁感应定律,从而诞生了世界第一台发电机。又如1881年美国矿山技术员多西,从空气压缩过程发热现象,推想出压缩空气的减压过程应吸热,构思出制冷原理,由此发明了压缩式空气温度调节器。

3. **多向性** 从多种不同角度思考问题、分析问题,使思路开阔,解法宽广。美国阿·卢森堡教授经过大量调研得出,当今在科技上有成就的人,在创立新学科理论过程中,多路思维都异常突出。创造性活动中成功的机率与原设想方案的多少往往成正比。多向性思维体现为扩散思维和多向思维两种型式。前者是以某一现实事物为起点,诱发出多种奇异思想,其特点是一个来源产生多个输出思路。如从家用镜子扩展到反光镜、反射镜、潜望镜等。后者即多向思维,是对某一问题从不同角度找出尽量多的解法和思路。例如要解决渡河的问题,可用跨越水面或把水引开两种方法,而跨越方法又可采用桥、船、飞行器、隧道或索道等措施;而引水方法又可用截流、改道、抽干等不同措施。对桥来说,又可有拱桥、浮桥等不同结构形式。思路多才能从中选择出现实合理的渡河方案。

4. **综合性** 对已有材料进行综合概括,找出其规律,或利用已有信息、现象、概念等进行组合,形成新的技术思路或设计出新产品。新技术很多是从已有的几种学科原理组合而成。也有人认为组合代表当代技术发展的一种趋势。例如阿波罗宇宙飞船是由700多万个元件组合构成总体,虽然元件中并没有很多是新研制的特殊件,但由于设计的综合性使系统先进,最终达到送人到月球的目的。又如现代机器人的构成是综合吸收了机、电、光、计算机等多学科技术,才得到运动、动力、感觉、判断及智能等复杂功能的效果。

有的专家讲,创造性思维要通过创造性技法引入创造活动。现在国内外介绍的创造性技法有上百种,如智力激励法、提问追溯法、联想类推法、反向探求法、系统搜索法、组合法等等。由于篇幅所限,我们不详细作介绍,请参考有关文献。

第二节 功能原理设计任务、功能单元和功能结构

一、功能原理设计的任务和工作内容

功能原理设计任务可表述为:针对某一确定的功能要求,寻求相应的物理效应,借助某些

作用原理,求得实现功能目标的某些解法原理。例如,为实现机械直线移动的功能要求,可寻求液压、电磁或机构等物理效应,通过油缸、直线电机或刚体传动等作用原理,求得最终实现机械直线移动这个功能目标的解法原理。

功能原理设计的工作内容,主要是构思能实现功能目标的新的解法原理。其工作步骤必须从明确目标作起,然后才能进行创新构思。在得到某些解法原理后,还要通过模型试验或技术分析,验证其原理的可行性和实用性。对于不完善的构思应按试验结果或分析结果进行修改、完善和提高,最后对几种得到的解法原理做技术和经济评价,选取最实用合理的解法作为最优方案,供使用。

二、功能和功能单元

功能是为完成工作任务所建立起的输入与输出间的变换、因果或逻辑关系,是对任务的抽象描述。功能与常用的功用、用途、性能、能力等用词的涵义既有联系又有区别。如电动机的功用是作机械的原动机;用途是驱动机械运转;性能是电动机本身的效率、振动、过载、耐用性等;能力是指电动机的功率和转速大小;而电动机的功能则是将电能转换为旋转运动输出所需的动能。

如上所述,功能是以任务为核心的抽象描述。只有把问题越抽象,解题思路所受的约束或限制越小,而解法越多,创造性也会越大。这是在设计初始阶段作功能原理构思中很重要的思维方式。为方便功能原理构思,按功能目标和抽象程度不同,功能可分为四类:

1. **逻辑功能** 是最抽象的一种功能,它描述系统的逻辑性,即描述系统的输入输出状态是否存在其变换过程的逻辑关系。如电路开关接通,有电流通过,电灯发光。

2. **数学功能** 它是描述系统参量间的数学运算关系,对机械设计是不可少的。

3. **物理功能** 描述系统的物理特性和物理量间的变换。如输入电能,输出机械能,这是物理功能的能量变换。

4. **具体功能** 它只能概要说明系统目的的功能,如清除灰尘、降低噪声等。

系统论的系统定义为:在某一个边界范围内所有直接或间接相互作用元素的整体。

系统可分解为多个子系统,机械也是一个系统,机械有总功能,总功能又可分解为一些分功能,所以机械系统的功能具有可分性。例如一台轧钢机,是由主传动和压下装置组成。把轧钢机看作整体系统,轧制钢材为总功能,则主传动和压下装置即为分系统,相应的变速传动和压钢功能就是分功能。

在进行一个复杂机械系统的功能原理设计构思中,或对一个复杂机械系统的的功能结构分析中,为能清楚表达出功能的层次和功能之间的相互影响关系,往往只有分功能尚感不足,于是曾提出按机械中的某些基本作用关系划分出更细的功能元素,例如:放大-缩小;结合-分离;集中-分散等。这种过细的功能分解,在机械功能原理设计中有时能起到一些作用,但其有效程度尚不明显,有待进一步研究和发展。现结合机械设计的特点提出另一种功能的划分方式,即功能单元。由于功能原理设计是围绕功能为核心来寻求解法,而对机械来讲,在设计中又必然会联系起与功能相关的实体结构(例如用某个机械组成部分来完成某种分功能),所以功能单元的划分很为实用,也很易被设计人员所接受。

机械中的功能单元,就是以功能为核心,既保持有一定的功能独立性,又具有一定的复杂程度的单元。这个单元和机械中的某个组成部分往往相对应。功能单元和分功能都能很好地表达出独立的功能设计目标。

图 2-2 所示的硬币计数包卷机,其功能划分就是按各部分的独立功能目标而分解为七个功能单元:1. 堆放、输送;2. 排列、分送、排残;3. 分选、计数;4. 码擦;5. 送纸、切纸;6. 包卷;7. 卷边。

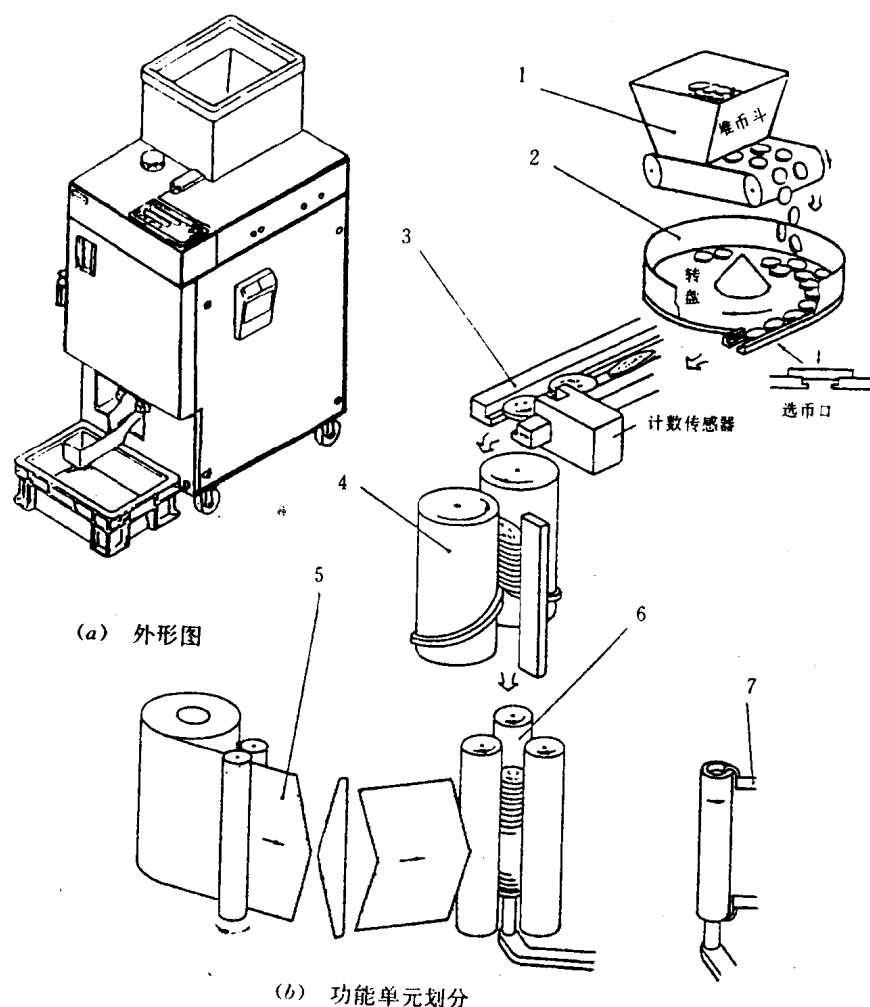


图 2-2 硬币计数包卷机功能单元划分图

值得指出,分功能和功能单元都是根据功能的相对独立性而划分的,它与机械的部件、零件或机构不能混同,后者属于功能载体。

三、功能流与黑箱法

对于复杂的机械系统,为进行功能原理构思将问题作抽象处理,会使求解思路广阔。德国的诺特纳赫(Rodenacher)教授归纳各大类产品的功能和特征,总结为三个功能的基本要素,即:能量(E),物料(M),信息(S)。

三个功能基本要素在整个工程的流程中相应构成功能流,即:能量流,物料流,信息流。

在进行功能原理设计时,对复杂的机械系统通常采用黑箱法来抽象问题,并描述功能流的输入和输出。黑箱法是一种有利于创造性思维的表达方法,它能概括和表达机械的功能任务并方便于求解。