



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



机械设计制造及其自动化

专业系列教材

机械系统设计

(第二版)

赵韩 黄康 陈科 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
机械设计制造及其自动化专业系列教材

机械系统设计

Jixie Xitong Sheji

第二版

赵 韩 黄 康 陈 科 编著



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，在2005年第一版的基础上总结近几年的教学经验及其他兄弟高校的建议修订而成的。本书从包括生产线的整个机械系统出发，按系统论“流”的观点进行机械系统的分解，进而介绍机械系统设计的一般规律和方法。

全书共九章，包括概述、机械系统的总体设计、机械系统的物流设计、机械系统的能量流设计、机械系统的信息流与控制的设计、机械结构系统设计、机械运动系统设计、人-机-环境工程设计、机械系统设计的专家系统及仿真。

本书为高等学校机械设计制造及其自动化专业教材，也可作为相关专业的研究生教材以及供相关的工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械系统设计 / 赵韩, 黄康, 陈科编著. —2版. —北京: 高等教育出版社, 2011. 6

机械设计制造及其自动化专业系列教材

ISBN 978-7-04-031937-8

I. ①机… II. ①赵… ②黄… ③陈… III. ①机械系统-系统设计-高等学校-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP数据核字(2011)第 062627号

策划编辑 卢广 责任编辑 杜惠萍 封面设计 李卫青 版式设计 马敬茹
插图绘制 尹文军 责任校对 俞声佳 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京双青印刷厂
开 本 787×1092 1/16
印 张 20.75
字 数 500 000
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2005年3月第1版
2011年6月第2版
印 次 2011年6月第1次印刷
定 价 32.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 31937-00

第二版前言

本书第一版自2005年出版以来已历经数载,综合近几年的教学经验以及使用本书的各兄弟院校的意见,决定对本书进行修订。经编写组讨论,修订原则如下:

1) 进一步完善教材体系。将系统论基本思想——“使局部和整体之间的关系协调配合以实现系统的综合最优化”应用于机械设计中,即特别强调系统的观点,也就是必须考虑整个系统的运行,而不是只关心各组成部分的工作状态和性能。与第一版相比,更加注重实践性,而且精简内容,减少学时。

2) 追踪最新研究成果,提高教材的先进性。将一些新的设计理论与方法,例如专家系统、机械系统仿真等介绍给读者。另外,本书中的很多实例来自我们的最新研究成果,如精密校直机设计、汽车行驶平顺性仿真等。

3) 处理好与相关教材的关系,避免重复。机械系统设计涉及的内容很多,但作为一门课程不可能讲述所有的相关内容。作为教材,必须在体现其内容的科学性、先进性的基础上处理好与相关课程内容的关系(衔接关系、延伸关系),同时注意不要有与相关课程内容重复的问题,不能过分强调完整性。在本次修订中,更加注重与相关教材的关系,以系统设计思想、设计过程和方法的讲述为主,具体的分系统设计的讲述为辅,与其他课程一起共同构成机械设计类专业课程的完整体系。

本次修订在保留第一版的基本体系和内容的基础上,进行了部分补充和修改,具体修订内容如下:

1) 增加机械结构系统设计的内容。作为系统设计中的一个环节,结构系统是其重要组成部分之一,虽然在其他课程中也有提及,但没有较系统的介绍,故本次修订时专门增加了第六章机械结构系统设计。

2) 在机械系统总体设计部分进一步增加原理方案设计部分的介绍。

3) 对章节的编排顺序进行了变化,即在概述、总体设计后进行物料、能量、信息、结构四大系统的介绍,再进行运动系统及人-机-环境系统的介绍,最后进行专家系统及仿真的介绍。

4) 在物料流系统设计部分中,考虑到定位设计的有关内容在机械制造基础等相关课程中已有介绍,故删去。

5) 在机械运动系统设计部分略去大部分学校已在前述课程中讲述过的内容,如液压传动和气压传动部分,而增加无级变速部分的内容。

6) 信息流系统设计部分增强接口技术部分的内容,减少有关控制原理部分的内容。

7) 人-机-环境工程设计部分增加有关绿色设计的介绍。

8) 机械系统设计专家系统及仿真部分减少仿真原理的介绍,增加有限元部分的简介。

在本次修订工作中赵韩提出了全书的内容体系,并与陈科共同修订了第五章,与黄康共同修订了其余部分。

II 第二版前言

合肥工业大学机械与汽车工程学院研究生张卫霞、李佳伟、曹火、陈戈、熊杨寿、闫敏良同学参加了修订版的校稿及绘图工作,翟华老师等为本书提供了部分实例,在此一并表示感谢!

本书承合肥工业大学高荣慧老师悉心审阅,提出了很多宝贵的修改意见,在此表示由衷的谢意!

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,并得到了高等教育出版社的大力支持。在此对本书所获得的所有支持表示衷心的感谢!

书中难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

编著者
2010.12

第一版前言

随着科学技术的发展和社会的进步,人们对机械系统及装备的要求越来越高。机械系统及装备除了要实现基本的工作要求,还要具有美观、操作简便、维修容易、安全、节能、环保、智能、遥控等附加功能,因而越来越复杂,涉及的相关知识领域,如机械、电子、数学、力学、人机工程、人工智能、环境、材料等越来越多。传统的机械设计主要是以解决运动学和动力学的问题为主,即以实现基本工作要求为主,已不能满足现代机械系统及装备的设计要求。近年来,有些专家学者看到了这一问题,提出了机械系统设计的概念,并出版了相关的著作,推动了机械系统设计的发展。这些著作总体上受传统的机械设计的影响较大,也仍基本局限在单机设计的层面。因此,对于如何从更广的角度考虑和设计复杂的机械系统,是机械设计领域急需解决的问题,也是机电类本科专业学生迫切需要掌握的内容。

现代机械系统及装备都是机、电、光、液等高度一体化的复杂技术系统,传统概念中的机械,在现代机械系统中仅仅被视为“机械部分”,并且机械系统本身也只是“人-机-环境”这个更大系统的一个要素(子系统)。在这一系统中,各组成部分之间是相互联系、相互作用的,它们均对机械产品的性能存在着直接或间接的影响。因此,从系统的角度考虑设计问题,能避免传统的以零部件设计为中心而引起的零部件间相互不能匹配、设计周期长等问题。为使机械系统更容易理解,使众多的学科领域知识在设计中得到有机的融合,本书将系统科学的有关理论引入到机械系统设计中。其主要特点是在充分考虑现代科技发展的基础上,引入物料流、信息流和能量流的概念,将机械系统分成子系统进行论述。

机械系统设计是机械工程类专业的主干课程。通过本课程的学习,将使学生能用系统的观点从整机和整个系统的角度去发掘机械产品设计的规律和特点,扩充机械结构知识、控制知识和现代设计知识等,初步掌握它们在机械系统设计中的应用,增强整机和系统的设计能力,从而掌握一定的复杂机械系统的开发设计能力。

本书共分为8章,由赵韩提出全书的体系框架,并和陈科共同撰写了第六章,和黄康一起撰写了其他章节。第一章介绍了机械系统的概念、基本特性、组成和各部分的关系,机械系统的功能要求,机械系统设计的思想、特性及一般程序等,以使读者对机械系统以及机械系统设计等概念有总体的认识;第二章介绍了总体设计的概念及一般过程,包括设计任务的确定(需求分析)、功能分析与分解、功能求解与集成、设计方案的形成、方案的评价、总体布局设计及主要技术参数的确定和总体设计图等内容;第三章介绍了物料流系统的基本组成和存储子系统、输送子系统及装夹定位子系统的设计问题,并对制造系统中的物流系统进行了专门介绍;第四章介绍了能量流系统的构成及能量流理论,并按能量流系统设计的一般顺序介绍了系统载荷类型及确定,常用动力机的种类、特点及选用,还专门介绍了伺服驱动装置;第五章介绍了传动系统(含液压传动及气压传动系统)的构成及常用的变速装置、执行系统的组成与分类、操纵系统的组成及其设计,并介绍了微位移机电系统这一新内容;第六章介绍了信息流系统的类型及构成,主要传感器的类

型、特性及选择;第七章介绍了人机工程学及造型设计的一些原则和方法,机械系统噪声控制方面的基础知识,机械振动及振动控制、机械基础设计的基本知识等内容;第八章介绍了计算机在机械系统设计中的应用情况,主要是机械系统设计的专家系统和机械系统的仿真分析。为使读者对机械系统设计的过程有一个完整的印象,在附录中给出了一个完整的机械系统设计的实例。

本书内容比较多,但由于分解的比较合理,在进行一定的取舍后并不影响整体的效果。因此,基于各校的先修课程有所不同,教师在具体的教学内容安排上可根据实际情况进行适当选择。例如,先修课程中有电机学或相关课程的,第四章中常用电机特性及选择部分的内容可以不讲;而先修课程中有机械产品造型设计课程的,第七章中的人机工程学及造型设计方面的内容可以不讲。如此等等,不再赘述。

书稿承合肥工业大学朱文予教授悉心审阅,提出了很多宝贵的修改意见,特在此表示深切的谢意。

本书被评选为教育部高等教育“十五”国家级规划教材,并得到了高等教育出版社的大力支持。在此对本书所获得的所有支持表示衷心的感谢!

编著者

2003.9

目 录

第一章 概述	1	第五节 数控系统与伺服机构	146
第一节 系统与机械系统	1	第六节 机械系统的信息流与控制的 设计实例	152
第二节 机械系统设计的任务与过程	5	第六章 机械结构系统设计	160
第三节 本课程的主要内容	10	第一节 概述	160
第二章 机械系统的总体设计	12	第二节 机械结构系统的刚度	162
第一节 概述	12	第三节 机械结构系统的动态性能	163
第二节 设计任务的形成与确定	14	第四节 大型结构件的设计	166
第三节 机械系统的功能及指标分解	17	第七章 机械运动系统设计	170
第四节 机械系统的方案设计	22	第一节 传动系统	170
第五节 机械系统方案的评价	24	第二节 执行系统	190
第六节 机械系统的总体布局设计及主要 参数确定	29	第三节 操纵系统	198
第七节 机械系统总体设计实例	37	第四节 机械运动系统设计	205
第三章 机械系统的物流流设计	43	第五节 机械运动系统设计实例	216
第一节 概述	43	第八章 人-机-环境工程设计	221
第二节 存储子系统	47	第一节 概述	221
第三节 输送及搬运系统	53	第二节 机械系统设计中的人机工程学 及造型设计	223
第四节 物料的装夹与定位装置设计	57	第三节 机械系统噪声及其控制	241
第五节 制造系统的物流系统设计	58	第四节 机械系统的振动及基础设计	248
第六节 物流流系统设计实例	69	第五节 绿色设计	257
第四章 机械系统的能量流设计	74	第九章 机械系统设计的专家系统及 仿真	265
第一节 概述	74	第一节 概述	265
第二节 能量流系统分析	74	第二节 机械系统设计专家系统的原理 及建造	268
第三节 工作机械载荷分析	77	第三节 机械系统仿真分析	279
第四节 普通动力机的种类、特性及其 选用	84	第四节 计算机辅助分析	290
第五节 伺服驱动装置简介	97	附录	298
第六节 能量流系统设计	104	附录一 机械系统设计实例	298
第五章 机械系统的信息流与控制的 设计	113	附录二 常用定位方法与元件	313
第一节 概述	113	参考文献	318
第二节 信号的采集及处理	116		
第三节 接口技术与监控系统	123		
第四节 现代控制理论简介	132		

第一章 概 述

第一节 系统与机械系统

1.1.1 系统

1. 系统的含义

系统是由具有特定功能的、相互间具有有机联系的许多要素所构成的一个整体。它有多种定义方式,如现代系统论创始人、美国生物学家贝塔朗非把系统定义为“处在一定相互联系中与环境发生关系的各组成部分的整体。”无论如何定义,它都少不了如下两重含义:

- ① 系统由相互联系的要素构成;
- ② 系统与环境发生关系,不是孤立的。

所谓要素,就是构成系统的各组成部分。离开要素,系统就不存在了,但系统并不是要素的简单相加。如机床不是各种零件的简单相加,制造系统也不是各种机床的简单相加。

系统不是孤立存在的,每一系统都受到更大系统的制约,因此系统与要素的区分也是相对的。每个系统对于更大的系统来说,又成为要素,或称子系统。如,可以将一个柔性制造系统看作是一个系统,则其中的数控机床可看作是基本单元(要素);也可以将一台数控机床看作是一个系统,而将各零部件看成要素。

系统在特定环境中发挥的作用或能力就叫系统的功能。一个司机可能不完全掌握汽车的构造和原理,但他会驾驶,这就是掌握了汽车的功能。

2. 系统的特性

(1) 整体性

系统是由各要素按一定的要求和结构组织起来的整体,这个整体获得了各个孤立要素所不具备的新品质和新功能,如制造系统的功能就是单台机床所不具有的。系统结构把要素联结在一起,这不是机械的相加,而是有机的结合。系统的要素受系统整体的制约,它不具有独立性,不是作为孤立事物而是作为系统的一部分出现和发挥作用的,而且系统的变化必然引起要素的变化。

掌握整体性原则,就要求我们重视整体效应,即将着眼点放在系统整体上来,将具体事物放在系统整体中来考察。同时,要注意处理好各部分的比例关系。

(2) 相关性

所谓相关性,即系统的要素之间、要素与整体之间、系统与环境之间的普遍联系,它们互相制约,互相影响,不可分割。

掌握相关性原则,就要求注意事物之间的互相联系,防止孤立、片面地看问题。洋务运动时,湖广总督张之洞请法国人按法国的图样建造的高炉,不能冶炼中国的铁矿砂,就是因为张之洞不

懂得高炉与铁矿砂的相关性,才闹了大笑话。

(3) 自组织性与动态性

自组织性与动态性也就是环境适应性。由于系统结构的有机性以及系统具有反馈功能,因此系统能够适应环境的变化,而由于外部环境总是不断变化,因此系统也总是处于动态的过程中,稳态是相对的、暂时的。

掌握这一原则,就要求在系统设计时充分考虑外部环境的各种变化和干扰所带来的影响,以使系统具有良好的运行状态。

(4) 目的性

系统存在的目的是指系统的活动最终趋向有序和稳态,即完成特定的功能。这是系统价值的体现。

因此,系统具有明确的目的性,即实现要求的功能,排除或减小有害的干扰。

(5) 优化原则

系统通过要素的重组、自调节活动,达到系统在一定环境下的最佳结构。

系统的优化离不开一定的现实环境,只是相对的优化,它是随人的认识的深化和环境条件的改变而逐步提高的。

如任何产品的设计都不是一次完成的,总是在获得较满意的效果后就问世,然后再根据实践结果和新的研究加以改进。

1.1.2 机械系统

1. 机械系统的定义

任何机械均是由若干机构、部件和零件组成的系统。

按照系统的定义,零件是组成系统的要素,它们为完成一定的功能而分别组成了各个子系统。广义上讲,机械系统是人-机-环境这个更大系统的子系统。因此,常把机械构成的系统称为内部系统,而把人和环境构成的系统称为外部系统。内部系统与外部系统之间存在着一定的联系,即相互间有作用和影响,如图 1-1 所示。

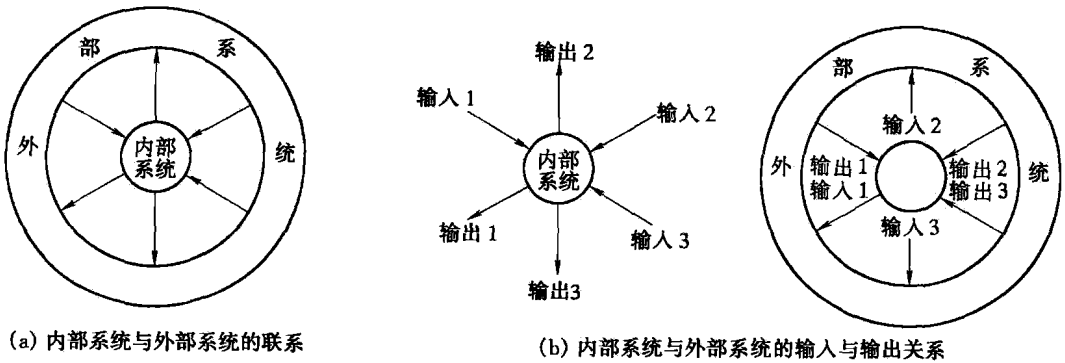


图 1-1 内部系统和外部系统的输入与输出

2. 机械系统的构成

从不同的角度出发,机械系统的构成有不同的描述。以前大多是按照系统的结构和组成的装置进行描述,这使得在设计时比较零乱,难以集成。现代科学的世界观认为,世界是由物质、能量及信息组成的。与此相对应,任何工程系统的功能,从本质上讲,都是接收物质、能量及信息,经过加工转换,输出新形态的物质、能量及信息。据此,本书从“流”的观点出发,将机械系统划分为物料流系统、能量流系统和信息流系统,如图 1-2 所示。由于能量流系统中的传动装置、信息流系统中的操纵装置及物料流系统中的执行装置均为常用机构所构成的机械运动部件,从机械设计角度出发可将其归入机械运动系统。

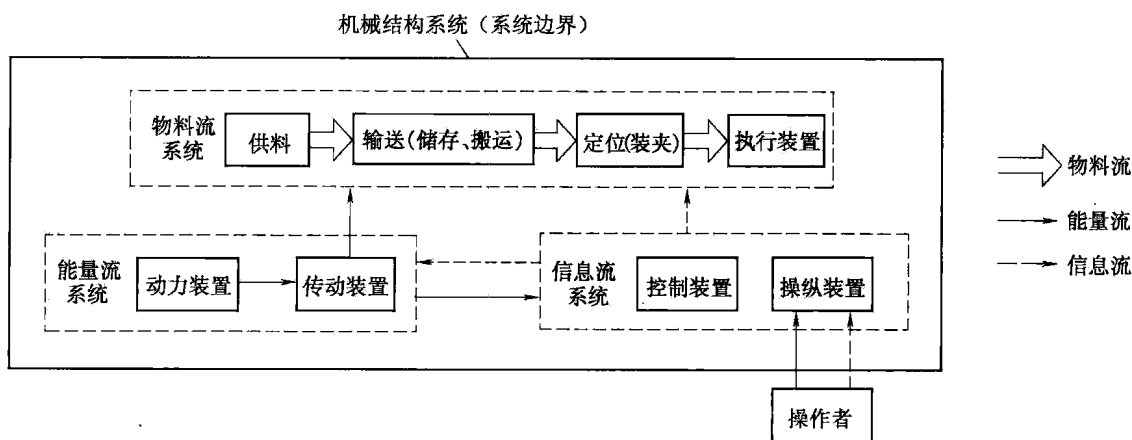


图 1-2 机械系统构成

(1) 物料流系统

物料是机械系统工作的对象,机械系统的任务就是改变物料的形状和状态。因此,在机械系统中,物料流是最重要的部分,机械系统中直接与物料接触且使物料发生形状和状态变化的部分就构成了物料流系统。

(2) 能量流系统

任何机器的工作都需要能量,要使物料的形状和状态发生变化,更需要大量的能量。因此,机械系统中用于提供能量、转换能量和传递能量的部分就构成了能量流系统。

(3) 信息流系统

在物料流和能量流中,各种机构和装置的工作和停止都要满足一定的要求。同时,系统还要随时发现一些故障,并给出相应的处理措施。这些都涉及信息的采集、处理以及指令的发送与接收。因此,机械系统中用于对系统内的信息和指令进行处理的部分就称为信息流系统。

(4) 机械结构系统

结构系统在机械系统中起着支承、连接的作用,用来安装物料流、能量流、信息流系统中的零部件,并保证各零部件和系统之间的相互空间位置关系。结构系统由各部分结构件组成,常见的有机身、导轨、箱体、横梁、工作台等。

机械结构系统是机械系统的重要组成部分,其强度、刚度、动态性能和热性能等,都对机械系统的整体性能和功能的可靠性产生重要影响。

(5) 机械运动系统

机械运动系统包含传动系统、执行系统及操纵系统。

传动系统是用于传递能量(以运动和动力的形式表现)的中间装置。当然,当动力机能量的输出形式完全符合工作机械的要求时,可以省略传动部件。

执行系统通常处于机械系统的末端,直接与作业对象接触,其输出是机械系统的主要输出,其功能是机械系统的主要功能。因此,执行部件有时也被称为机械系统的工作机,其功能及性能直接影响和决定机械系统的整体功能及性能。

操纵系统用于将人和机械联系起来,即把操作者施加于机械的信号,经转换传递到执行部件,以实现机械系统的起停、换向、变速、变力等目的。

1.1.3 现代机械系统的功能要求

现代机械系统的功能要求非常广泛,不同的机械系统因其工作要求、追求目标和使用环境的不同,其具体功能的要求也有很大差异。

对机械产品功能的理解,人们通常是指该产品的用途、使用性能和工作能力。例如,电动机:

用途——作为原动机,用以驱动机床、电扇等各类机械。

性能——效率、寿命、振动……

能力——功率、转速……

金属切削机床:

用途——切去毛坯余量,将其加工成符合规定尺寸、形状、精度要求的零件。

性能——精度、刚度、寿命、噪声……

能力——功率、速度……

各种机械系统的功能要求大体可归纳为:

- ① 运动要求:如速度、加速度、转速、调速范围、行程、运动轨迹以及运动的精确性等。
- ② 动力要求:包括传递的功率、转矩、力、压力等。
- ③ 可靠性和寿命要求:包括机械和零部件执行功能时的可靠性和寿命,零部件的强度、硬度、耐磨性等。
- ④ 安全性:包括强度、刚度、热力学性能、摩擦学特性、振动稳定性、系统工作的安全性及操作人员的安全性等。
- ⑤ 体积和重量。
- ⑥ 精度:如运动精度、定位精度等。
- ⑦ 经济性:包括机械的设计、制造及使用、维修的经济性。
- ⑧ 环境保护要求:如噪声、振动、防尘、工业三废的处理与排放。
- ⑨ 产品造型要求:如外观、色彩、装饰、人-机-环境的协调性等。
- ⑩ 其他特殊要求:除上述要求之外,不同的机械还可有一些特殊要求,如户外型机械要求良好的防护和密封,食品机械、纺织机械要求不污染被加工产品等。

第二节 机械系统设计的任务与过程

了解机械系统设计的任务与方法之前,必须首先了解机械系统设计的基本思想。

1.2.1 机械系统设计的基本思想与特点

1. 机械系统设计的基本思想

机械系统的思想很早就已产生,早在1824年,卡诺在《论火的动力与发出这种动力的机器》中写道:“任何时候都不要指望把燃料的全部热能加以利用。如果忽略其他目标,而一味追求此点,将有害而无益。燃料的经济性只是热机应满足的条件之一,在很多情况下,燃料的经济性常常处于第二位,热机首先应满足可靠性、强度、寿命、尺寸等要求”。

这段话,实际包含了机械系统设计的基本思想,即:在机械系统(热机)设计时不应追求局部最优(燃料的经济性),而应该追求整体的最优(燃料的经济性加上热机的可靠性、强度、寿命、尺寸等综合性能)。

2. 机械系统设计的特点

机械系统设计必须考虑整个系统的运行,而不是只关心各组成部分的工作状态和性能。传统的设计方法注重内部系统的设计,且以改善零部件的特性为重点,至于各零部件之间、外部环境与内部系统之间的相互作用和影响考虑较少。零部件的设计固然应该给予足够的重视,但全部用最好的零部件未必能组成好的系统,其技术和经济性未必能实现良好的统一。应该在保证系统整体工作状态和性能最好的前提下,确定各零部件的基本要求及它们之间的协调和统一。

同时,应在调查研究的基础上搞清外部环境对该机械系统的作用和影响,如市场的要求(包括功能、价格、销售量、尺寸、质量、工期、外观等)和约束条件(包括资金、材料、设备、技术、人员培训、信息、使用环境、后勤供应、检修、售后服务、基础和地基、法律和政策等)。这些都对内部系统设计有直接影响,不仅影响机械系统的总体方案、经济性、可靠性和使用寿命等指标,也影响具体零部件的性能参数、结构和技术要求,甚至可能导致设计失败。

此外,也不能忽略机械系统对外部环境的作用和影响,包括该产品投入市场后对市场形势、竞争对手的影响,运行中对操作环境、操作人员及周围其他人员的影响等。

内部系统设计与外部系统设计相结合是系统设计的特点,它可使设计尽量做到周密、合理,少走弯路,避免不必要的返工和浪费,以尽可能少的投资获取尽可能大的效益,其技术、经济、社会效果往往随系统复杂程度的增加而越趋明显。

1.2.2 机械系统设计的任务

机械系统设计的任务是为市场提供优质、高效、价廉物美的产品,在市场竞争中取得优势,赢得用户,并取得良好的经济效益。产品质量和经济效益取决于设计、制造、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;没有经济观点的设计人员,绝不可能设计出经济性好的产品。据统计,产品的质量事故中约有一半是设计不当造成的;产品成本中的60%~70%取决于设计。同时,从国民经济支出的角度看,设计通常是产品研制的所有阶段中花费最少的一个阶段。但从后果看,这个阶段可能是最昂贵的。例如,在科学研究中出现了及

时更正只需要 1 元的错误,那么在试验设计时更正它的代价就会是 10 元,在试制阶段可能增加到 100 元,最后在生产阶段就会增加到 1 000 元。机械系统设计时,特别强调和重视要从系统的观点出发,合理地确定系统功能,增强可靠性,提高经济性,保证安全性。

1. 合理确定系统功能

一项产品的推出总是以社会需求为前提,没有需求就没有市场,也就失去了产品存在的价值和依据。而社会需求是变化的,不同时期、不同地点、不同社会环境就会有不同的市场行情和要求。所以,设计师必须确立市场观念,以社会需求和为用户服务作为最基本的出发点。

所谓需求,就是对功能的需求。用户购买产品实际就是购买产品的功能。

按功能的性质可分为基本功能和辅助功能。基本功能是用户直接要求的功能,体现了产品存在的基本价值。辅助功能是为了实现基本功能而附加在产品上的功能,是实现基本功能的手段。而无论实现哪种功能都需要成本投入。价值工程中常用价值来评价功能与成本的统一程度,即产品的价廉物美程度。价值 V (value)可用功能 F (function)与成本 C (cost)的比来表示:

$$V = \frac{F}{C} \quad (1-1)$$

从式(1-1)可以看出,为了提高产品的价值 V ,可以采取下述五种措施:① 增加功能 F ,而成本 C 不变;② 功能 F 不变,降低成本 C ;③ 增加一些成本 C 以换取更多的功能 F ,即 F 的增加比 C 的增加多。④ 降低一些功能 F 以使成本 C 更多地降低,即 F 的减少小于 C 的减少;⑤ 增加功能 F ,降低成本 C 。显然,最后一种是最理想的,但也是最困难的,这就要求我们采用一些特别的手段,如高科技手段。

因此,确定系统功能时应遵循保证基本功能、满足使用功能、增添新颖功能、剔除多余功能,恰到好处地利用外观功能的原则,降低现实成本,提高功能价值,力求使产品达到更加物美价廉的境界。

2. 增强可靠性

按照 GB/T 2900.13—2008 的规定,可靠性可定义为:“产品在给定的条件下和在给定的时间区间内能完成要求的功能的能力。”

① 产品是泛指,包括零件、部件、设备、系统。

② 要求的功能是指产品所应实现的使用任务的预期功能。例如,汽车的规定功能是运输,机床的规定功能是加工零件。产品丧失要求的功能称为失效,对可修复的产品也称为故障。

③ 给定的条件是指使用条件与环境条件,含运输、保管条件。

④ 给定的时间:产品的功能只有同使用时间相联系才有实际意义,不同的产品应有不同的规定时间,如海底电缆要求使用长达三四十年,火箭只要求保证一次工作。给定的时间有的要求的是应力循环次数、转数等相当于时间的量。

增强系统可靠性的最有效方法是进行可靠性设计,也称概率设计。

3. 提高经济性

机械系统的经济性表现在设计、制造、使用、维修,乃至回收的全过程中。

(1) 提高设计和制造的经济性

产品的经济性决定于其成本,而成本是由设计和制造两方面的因素决定的。因此,设计师应该了解影响产品成本的设计因素和制造因素,在保证产品功能的前提下努力降低产品的成本。

提高设计和制造的经济性,从设计角度来说主要有以下几个方面:

1) 合理地确定可靠性要求和安全系数

可靠性要求和安全系数分别是可靠性设计及传统设计中描述系统工作而不失效的程度指标,但它们的含义及应用有所不同。

由于设计时使用的载荷、材料强度等数据都属于统计量,因而可靠性要求更符合客观实际。所以,采用可靠性设计可以使系统的设计更合理、更经济。系统越复杂,其优越性也就越明显,经济性和可靠性也就越统一。

采用传统设计方法,以安全系数作为判据时,将设计中的统计量当作确定量来处理,显然不符合客观实际,当安全系数大于1时,并不能排除失效的可能性。

2) 贯彻标准化

标准化是组织现代化大生产的重要手段,它大大提高了产品的通用性和互换性,可以使生产技术活动获得必要的统一协调和良好的经济效果。它创造的经济性体现在很多方面,如加快了产品开发速度,缩短了生产技术准备时间,节约了原材料,提高了产品质量、可靠性和劳动生产率,改善了维修性等。

标准化通常包括产品标准化、系列化和通用化。机械工业的技术标准有以下三大类:

① 物品标准

它又称为产品标准,是以产品及其生产过程中使用的物质器材为对象制定的标准,如机械设备、仪器仪表、工装、包装容器、原材料等标准。

② 方法标准

它是以前生产活动中的重要程序、规划、方法为对象制定的标准,如设计计算、工艺、测试、检验等标准。

③ 基础标准

它是以前机械工业各领域的标准化工作中具有共性的一些基本要求或前提条件为对象制定的标准,如计量单位、优先数系、极限与配合、图形符号、名词术语等标准。

我国标准分国家标准、部颁标准(专业标准)、企业标准三级。

鉴于目前我国标准化工作的现状和需要,积极采用国际标准和国外先进标准也是一项重要的技术经济政策。国际标准主要是指国际标准化组织 ISO 和国际电工委员会 IEC 两个国际性的标准化机构公布的标准。我国是 ISO 和 IEC 的成员国。

3) 采用新技术

随着科学技术的发展,各种新技术(包括新工艺、新结构和新材料等)不断问世,在设计中采用新技术可以使产品具有更好的性能和经济性,因而具有更强的市场竞争力。

4) 改善零部件的结构工艺性

零部件的结构工艺性包括铸造工艺性、锻造工艺性、冲压工艺性、焊接工艺性、热处理工艺性、切削加工工艺性和装配工艺性等,深入研究结构工艺性,对新产品的的设计,对简化设计、缩短生产周期、提高劳动生产率、降低成本有重大的经济意义。良好的结构工艺性也是实现设计目标、减少差错、减少废品率、提高产品质量的基本保证。

影响结构工艺性的因素很多,如生产规模、设备和工艺条件、原材料的供应等。当生产条件改变时,零部件结构工艺性是否良好的评价也会随之变化。因此,结构工艺性既有原则性和规律

性,又有一定的灵活性和相对性。设计时应根据不同的情况进行具体分析后确定。

改善结构工艺性的具体措施、原则和规范可参阅有关的设计手册和资料。

(2) 提高使用和维修的经济性

使用和维修的经济性就是考虑使用者的经济效益,主要可从以下几个方面加以考虑。

1) 提高产品的效率

用户总是希望购买的产品效率高,能源消耗低,省电、省煤、省油等。机械设备的效率主要取决于传动系统和执行系统的效率。设计人员应在方案设计和结构设计时,充分考虑提高效率的措施。

对属于生产资料的机械设备,提高其生产率,提高原材料的利用率,降低物耗等,也是提高其效率的重要途径。

2) 合理地确定经济寿命

一般都希望产品有长的使用寿命,但在设计中单纯追求长寿命是不恰当的。

系统正常运行寿命的延长必须以相应的维修为代价。使用寿命的延长,往往伴随着系统性能的下降,效率降低,使用费用(包括运行、维修、保养、操作、材料及能源消耗等费用)增加,使用经济性降低,因此在适当的时候应考虑设备更新。另外,由于科学技术的进步,不断有一些技术更先进、性能价格比更高的新设备出现,加上企业生产规模的发展、产品品种的扩大或改变等,都是要求更新设备的原因。

设备从开始使用至其主要功能丧失而报废所经历的时间称为功能寿命;设备从开始使用至因技术落后而被淘汰所经历的时间称为技术寿命。对设备进行适时的技术改造可延长其技术寿命,在延长其技术寿命的同时,再以良好的维修为保证,可延长其经济寿命。在科技高速发展的时代,设备的技术寿命、经济寿命常大大短于功能寿命。按成本最低原则,设备更新的最佳时间应由其经济寿命确定。

3) 提高维修保养的经济性

维修能延长设备的使用寿命,是保持设备良好的技术状况及正常运行的技术措施,但必须以付出一定的维修费为代价,以尽可能少的维修费用换取尽可能多的使用经济效益,是机械设备进行维修的原则。

目前,在机械设备中应用比较多的是定期维修方式。这种维修方式因无法准确估计影响故障的因素及故障发生的时间,因而难免出现设备失修或维修次数过多的现象。有的零件未到维修期就已经失效,而有的零件虽未失效,但因已到维修期,而不得不提前更换。因此,定期维修方式的总维修费较高。但由于能够尽量安排在非正常生产时间进行,从而使因停机停产造成的损失减少,而且便于安排维修前的准备工作,有利于缩短维修时间,保证维修质量。

随着故障诊断技术的不断进步,维修技术也得到了飞速发展。按需维修的方式就是采用了故障诊断技术。它不断地对系统中的主要零部件进行特性值的测定,当发现某种故障征兆时就进行维修或更换。这种维修方式既能提高系统有效的运行时间,充分发挥零部件的功能潜力,又能减少维修次数,尤其是盲目维修,因而其总的经济效益较高。但因需配备十分可靠的监控和测试装置,所以只在重要的和价值很高的系统中采用。

对于不太重要的或价值不太高的产品,有时可设计成免修产品。它在使用期内不必维修,功能寿命终止时即行报废。

4. 保证安全性

机械系统的安全性包括机械系统执行预期功能的安全性和人-机-环境系统的安全性。

(1) 机械系统执行预期功能的安全性

机械系统执行预期功能的安全性是指机械运行时系统本身的安全性,如满足必要的强度、刚度、稳定性、耐磨性、耐腐蚀性等要求。为此,应根据机械的工作载荷特性及机械本身的要求,按有关规范和标准进行设计和计算。为了避免机械系统由于意外原因造成故障或失效,常需配置过载保护、安全互锁等装置。

(2) 人-机-环境的安全性

在人-机-环境的关系中,包括三个要素,即人、机与环境。这三者之间形成了三种子关系,即人与机关系、机与环境关系以及人与环境的关系。从机械系统设计的角度讨论安全性问题就是要考察以下这两个方面的内容:人-机安全与环境保护。

1) 人-机安全

人-机安全首先指的是人员的劳动安全。改善劳动条件,防止环境污染,保护劳动者在生产活动中的安全和健康,是工业技术发展的重要法规,也是企业管理的基本原则之一。

为了保障操作人员的安全,应特别注意机械系统运行时可能对人体造成伤害的危险区,并进行切实有效的保护。

人-机安全另一方面的内容是对机器运行安全性的影响,即由于人的操作错误(或称为人为差错)造成系统的功能失灵,甚至危及人的生命安全,这往往不被人们所认识,或不能引起人们的足够重视。实践表明,随着科学技术的发展,人工操纵或控制的各类机器也日趋复杂,对操作人员的要求愈来愈高,如要有准确、熟练地分析、判断、决策和对复杂情况迅速做出反应的能力。然而,人的能力是有限的,不可能随着机器的发展而无限提高。如果先进的机器对人的操作要求过高,超出人的能力范围,就容易发生操作错误,这不仅使系统性能得不到发挥,甚至使整个系统失灵或发生重大事故。如美国的 AV-8A 垂直起落飞机装备部队后,从 1973 年到 1977 年的五年中,发生 16 起事故,其中有 11 起是由飞行员的操作错误引起的,占 68%。因此,如何从总体设计上尽量减少系统的不安全因素,是确保“安全”性的一个非常重要的方面。

2) 环境保护

环境保护的内容非常广泛,如工业三废(废气、废水、废渣)的治理,除尘,防毒,防暑降温,采光,采暖与通风,放射保护,噪声和振动的控制等。

1.2.3 机械系统设计的一般过程

机械系统设计的一般过程包括产品规划、系统技术设计和制造销售三个阶段。

1. 产品规划

- ① 根据产品发展规划和市场需要提出设计任务书,或由上级主管部门下达计划任务书。
- ② 调查研究,进行市场调查,收集技术情报和资料,掌握外部环境条件,预测市场趋势。
- ③ 进行可行性研究,包括技术研究和费用预测,对市场前景、投资环境、生产条件、生产规模、生产组织、成本与效益等进行全面的分析研究,提出可行性研究报告。
- ④ 系统计划,明确设计任务、目的和要求,搞清外部环境的作用和影响,制订系统开发计划。