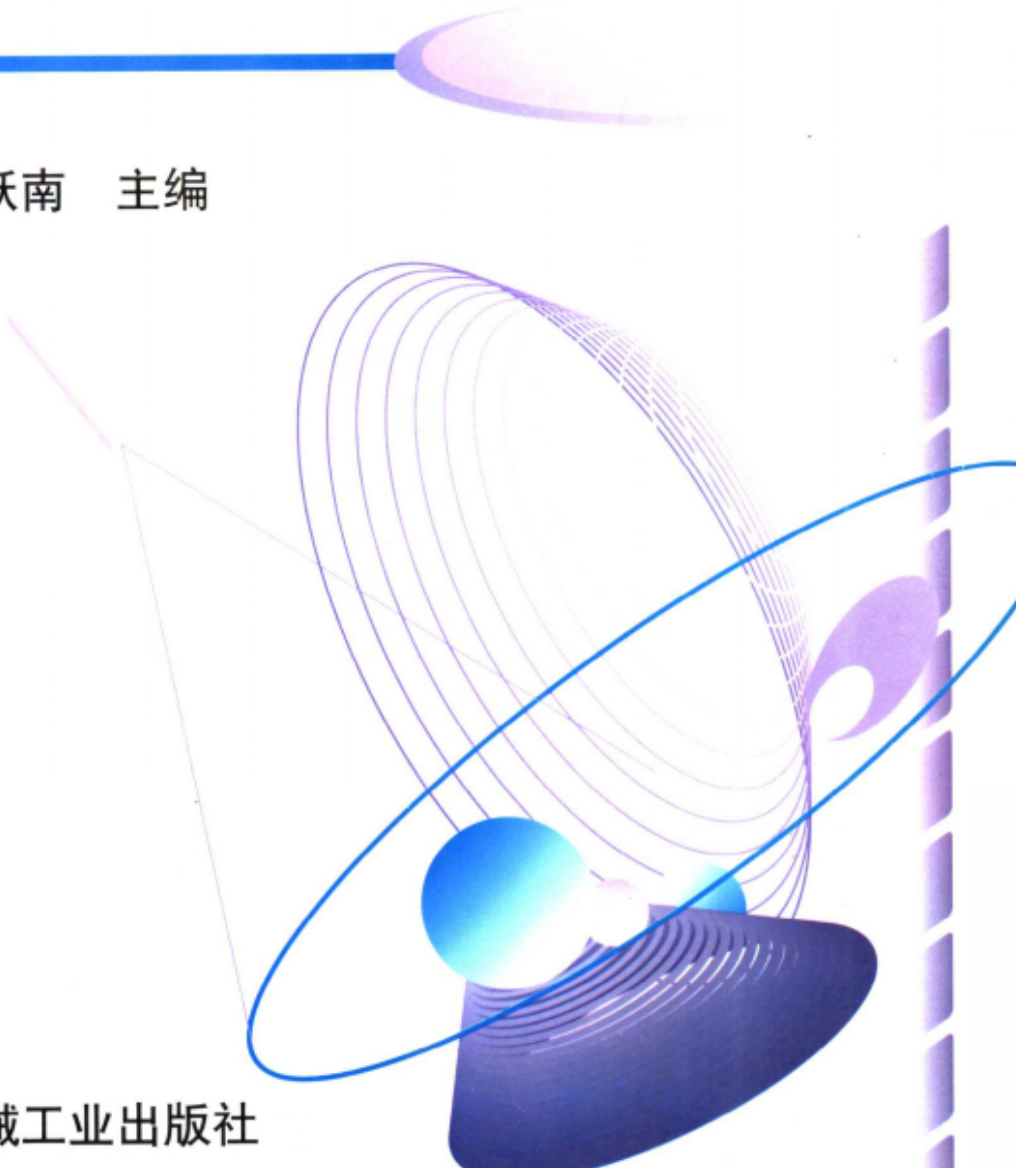


高等学校适用教材

机械系统设计

刘跃南 主编



机械工业出版社

普通高等工科(专科)教育机电类规划教材及参考书目

机械制造技术	扬州大学工学院 南京机械高等专科学校	黄鹤汀 吴善元
现代制造技术	扬州大学工学院	王隆太
工装设计	郑州工业高等专科学校	孙光华
计算机辅助设计	扬州大学工学院	杨雄飞
金属切削原理与刀具(第3版)	上海机械高等专科学校	陆剑中 孙家宁
液压与气压传动	南京机械高等专科学校	左键民
机械制造工艺学(含夹具设计)	南京机械高等专科学校 湘潭机电高等专科学校	徐嘉元 曾家驹
工程力学	南京机械高等专科学校	张秉荣
机械设计	南京机械高等专科学校	徐锦康
机械制造专业英语	淮阴工业高等专科学校	章跃
检测技术	长春大学	于永芳
机床电气控制	南京机械高等专科学校	郑仲民
机床数控技术	济南大学	王炳实
机械制图	南京机械高等专科学校	毕毓杰
机械制图习题集	湘潭机电高等专科学校	刘小年
理论力学	湘潭机电高等专科学校	刘小年
材料力学	南京机械高等专科学校	张秉荣
机械零件	郑州工业高等专科学校	赵方印
机械原理	郑州工业高等专科学校	张绍甫
机械工程材料	南京机械高等专科学校	徐锦康
互换性与技术测量	上海机械高等专科学校	王运炎
金属切削机床(上册)	南京机械高等专科学校	陈于萍
金属切削机床(下册)	扬州大学工学院	黄鹤汀
机械制造工艺学	扬州大学工学院	黄鹤汀
机械制造工艺学课程设计指导	江南大学	郑修本
机床夹具设计	南京机械高等专科学校	张龙勋
液压传动(第2版)	江南大学	肖继德
机械设计基础	湘潭机电高等专科学校	丁树模
机械工程学基础	南京机械高等专科学校	黄文灿
机械制造技术(常规技术部分)	南京机械高等专科学校	丁家镛
机械制造技术(现代技术部分)		朱正心
机械系统设计		曾家驹 刘跃南

ISBN 7-111-06859-9



9 787111 068594 >

定价: 18.00元

高等学校适用教材

机械系统设计

主 编 刘跃南
副主编 周跃红 蔡共宣
参 编 肖伟跃 宁立伟
主 审 黄鹤汀



机械工业出版社

本书较全面地叙述了机械系统设计各方面的有关问题。全书分为九章,内容包括机械系统概论、机械系统总体设计、执行系统设计、机械传动系统设计、机电传动系统及其设计计算、框架支承系统设计、操纵控制系统设计、机械系统设计实例及机械系统设计的评价。突出机械系统设计的一般规律和方法,注重从系统的观点介绍整体的模式、子系统的功能及系统的综合评价。

本书为高等学校机械类专业的基本教材,也可作为职业大学、业余大学、职工大学、电视大学及函授大学机械类专业的教材或教学参考书,同时可供机电工程有关技术人员参考。

机械系统设计

刘跃南 主编

*

责任编辑:邓海平 版式设计:冉晓华

封面设计:姚毅 责任校对:姚培新

责任印制:何全君

*

机械工业出版社出版(北京市百万庄大街22号)

(邮政编码100037)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787mm×1092mm^{1/16}·印张 14·字数 339千字

1999年5月第1版第1次印刷

印数 0 001—5 000 定价:18.00元

*

ISBN 7-111-06859-9/TH·911(课)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

本书是根据国家教委批准的机制专业“大幅度”改革方案及面向 21 世纪高等院校机械类人才培养方案,参照高等学校机制专业教学基本要求,吸取兄弟院校专业教学改革成功经验而编写的一本与专业教学改革配套的教材,是机械类专业教学改革系列教材之一。

本书较全面地叙述了机械系统设计各方面的有关问题。突出机械系统设计的一般规律和方法,注重从系统的观点介绍整体的模式、子系统的功能及系统的综合和评价。并结合课程设计和实验等实践性教学环节,培养学生具有开发设计性能良好、有市场竞争力的机械产品的初步能力。

本书为高等学校机械类专业的基本教材,也可作为职业大学、业余大学、职工大学、电视大学及函授大学机械类专业的教材或教学参考书,同时可供机电工程有关技术人员参考。

本书由湘潭机电高等专科学校刘跃南任主编,湘潭机电高等专科学校周跃红、郑州工业高等专科学校蔡共宣任副主编。第一、九章及二、五、六、八章的部分内容由湘潭机电高等专科学校刘跃南编写,第二、八章由湘潭机电高等专科学校周跃红编写,第四章及第一、二章的部分内容由郑州工业高等专科学校蔡共宣编写,第六、七章由常德师范学院肖伟跃编写,第三、五章由湘潭机电高等专科学校宁立伟编写。全书由刘跃南教授统稿和定稿,扬州大学工学院黄鹤汀教授主审。

本书在编写过程中得到了有关学校领导和同行们的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

限于编者的水平和经验,本书难免有欠妥或错误之处,敬希读者批评指正。

编 者

1998 年 8 月

目 录

前言

第一章 机械系统设计概论	1
第一节 机械与机械系统	1
第二节 机械系统设计的任务和原则	4
第三节 机械系统设计的方法	9
第四节 机械结构设计的基本原则和原理	17
第二章 机械系统总体设计	23
第一节 机械系统的方案设计	23
第二节 机械系统的总体布局	36
第三节 机械系统的载荷特性和动力选择	42
第四节 机械系统的精度设计	56
第三章 执行系统设计	65
第一节 执行系统的组成、功能与分类	65
第二节 执行系统设计的要求和步骤	70
第三节 执行系统的典型结构	74
第四章 机械传动系统设计	83
第一节 传动系统的作用、类型与组成	83
第二节 传动系统的运动设计	91
第三节 传动件的计算转速	101
第四节 变速箱设计	103

第五章 机电传动系统及其设计

计算	107
第一节 机电传动系统概述	107
第二节 常用机电传动部件	109
第三节 机电传动系统设计计算	136
第六章 框架支承系统设计	149
第一节 框架支承系统的功能及分类	149
第二节 框架支承件结构设计	149
第三节 支承导轨设计	158
第七章 操纵控制系统设计	167
第一节 操纵系统的组成、功能与分类	167
第二节 操纵系统设计	168
第三节 操纵系统设计的人机工程学	171
第四节 机械系统控制	173
第八章 机械系统设计实例	176
第一节 电瓷帽坯件机的设计	176
第二节 CF5225 立式车床数控改造设计	191
第九章 机械系统设计的评价	200
第一节 概述	200
第二节 技术经济评价法	201
第三节 评价实例	210
参考文献	217

第一章 机械系统设计概论

第一节 机械与机械系统

一、机械系统的概念

机械是机构和机器的统称。在现代社会中,机械成为人类生产和生活中的主要工具,人们运用各种机械改善劳动条件,提高劳动生产率和产品质量。同时,在人类生产和生活中使用机械的程度,是整个社会发展水平的重要标志之一。

所谓系统是指具有特定功能的、相互间具有有机联系的若干个要素所组成的一个整体。这里讲的要素可以是子系统,也可以是元素即系统最小单元,一般认为,由两个或两个以上的要素组成的具有一定结构和特定功能的整体都可看作是一个系统。一个大的系统可由若干个小的系统组成,这些小的系统常称为子系统。子系统又可由更小的子系统组成,系统本身也可以是别的更大系统的组成部分。在我们周围属于系统的事例很多,如一个机组、一个工厂、一项计划等等。

系统可分为两种:一种为流系统,有一组输入流(如物质流、能量流、信息流)通过提供统一的要素(如子系统,机器、设备或装置等)进行传递转换,最后变为一组输出流。如供电系统、通讯系统、供水系统,一个工艺流程,一条生产流水线等属于流系统。另一种为结合系统,它有两组或两组以上的,自成系统的要素组成,各自要素有各自的输入流并产生各自输出流,通过各要素的有机结合来实现系统的总功能。例如一辆汽车,有它的传动系统、电路系统、供油系统、制动系统、冷却系统、润滑系统、操作系统等,这些系统的有机结合便组成了汽车,实现汽车的总功能。这两种系统在性质上有所不同,流系统中的各组成要素间的连接,相对而言呈“柔性”连接,而结合系统各要素间的连接呈“刚性”连接。

任何机械都是由若干装置、部件和零件组成的一个特定系统,是一个由确定的质量、刚度和阻尼的物体组成的,彼此有机联系的,并能完成特定功能的系统。故又称之为机械系统。从系统论的原理和观点上看,机械是一个大的系统,机械基本上都是由动力系统、传动系统、执行系统、操纵控制系统、框架支承系统、物料输入输出系统、润滑系统等子系统组成。这是机械的共性,是建立机械系统的依据。机械零件是组成机械系统的基本要素,它们为完成一定的功能相互联系而分别组成了各个子系统。从系统类型来看,机械系统本身通常为结合系统,它的子系统可以是流系统,也可以是结合系统,它本身可以是一个大的流系统中的子系统。从广义上说,机械系统本身又是人一机一环境这个更大系统的组成部分。因此,设计机械系统时,又把机械本身构成的系统称为内部系统,而把人和环境构成的系统成为外部系统。

随着计算机技术和机电一体化技术的进步和发展,提出了现代机械系统的概念,美国机械工程师协会(ASME)的专家组,给现代机械系统的定义为:“由计算机信息网络协调与控制的、用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统”。这一含义实质上是指多个计算机控制和协调的高级机电一体化产品。

二、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,具有系统的一般特性:

(1) 集合性 集合性指系统是由若干个相互区别的要素有机地结合起来完成某一特定功能的综合体。

(2) 相关性 是指系统内部各要素之间是有机联系的,即相关的,它们之间相互作用、相互影响而形成特定的关系。如系统的输入输出之间的关系、各要素之间的层次联系、各要素的性能与系统整体特定功能之间的联系等,都取决于各要素在系统内部的相互作用和相互影响的有机联系。某一要素性能的改变将影响其对相关要素的作用,从而对整个系统产生影响。

(3) 目的性 系统的组成都是为了达到某一目的,系统的价值体现在其功能上,完成特定的功能是系统存在的目的。因此,系统的目的性是很明确的,即实现要求的功能。

(4) 环境适应性 任何一个系统都存在于一定的环境中,因而它必然要与环境产生物质、能量和信息方面的交流。外部环境的变化,会使系统的输入发生变化,甚至产生干扰,引起系统功能的变化。外部环境总是不断变化的,系统也总是处于动态过程中,稳态过程总是相对的、暂时的。因此,为了使系统运行良好,具有确定的特定功能,必须使系统对外部环境的各种干扰有良好的适应性。

(5) 整体性 整体性是系统所具有的最重要和最基本的特性。系统是由若干个要素构成的统一体,虽然各要素具有各自不同的性能,但它们在结合时必须服从整体功能的要求,相互间须协调和适应。一个系统整体功能的实现,并不是某个要素单独作用的结果,或者说每一个要素对于系统整体都不具有独立的影响。一个系统的好坏,最终体现在其整体功能上。因此,必须从整体着眼,即从全局出发确定各要素的性能和它们之间的联系,并不要求所有要素都具有完美的性能,即使某些要素的性能并不很完善,但如能与其他相关要素得到很好的统一协调,往往也可使系统具有满意的功能。

系统的整体性还反映在各要素之间的有机联系上,正是这种联系,才使各要素组成一个整体,若失去了这种联系也就不存在整个系统。要素的随意组合不能成为系统。同样,在系统中不存在与其他要素不发生联系的独立要素。因此,系统是不能分割的,不能把一个系统分割成相对独立的子系统。由于实际系统往往是很复杂的,为了研究的方便,可以根据需要把一个系统分解成若干个子系统,这与分割系统是完全不同的,因为在分解系统时始终没有忘记它们之间的联系,分解后的子系统都不是独立的,它们之间的联系分别由相应子系统的输入输出表示。

三、机械系统的组成

现代机械种类繁多,结构也愈来愈复杂,但从实现系统功能的角度来分解,主要包括动力系统、执行系统、传动系统、操纵控制系统、框架支承系统等子系统。如图 1-1 所示,每个子系统还可根据需要再分解为更小的子系统。

(一) 动力系统

动力系统包括动力机及其配套装置,是机械系统工作的动力源。按能量转换性质的不同,动力机可分为一次动力机和二次动力机。一次动力机是把自然界的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

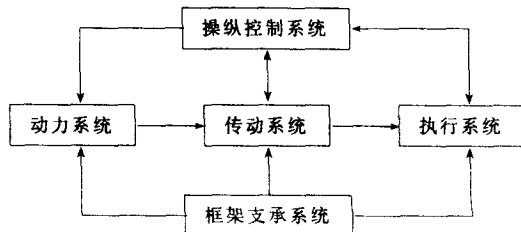


图 1-1 机械系统的组成

把二次能源(如电能、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。动力机输出的运动通常为转动,而且转速高。

选择动力机时,应全面考虑执行系统的运动和工作载荷、机械系统的使用环境和工况、工作载荷的机械特性等要求,使系统既有良好的动态性能,又有较好的经济性。

(二) 执行系统

执行系统包括机械的执行机构和执行构件,是利用机械能来改变作业对象的性质、状态、形状和位置,或对作业对象进行检测、度量等,以进行生产或达到其他预定要求的装置,根据不同的功能要求,各种机械的执行系统也不同,而且对运动和工作载荷的机械特性要求也不相同。

执行系统通常处在机械系统的末端,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,执行系统除应满足强度、刚度、寿命等要求外,还应充分注意其运动精度和动力学特性等要求。

(三) 传动系统

传动系统是把动力机的动力和运动传递给执行系统的中间装置。传动系统有下列主要功能:

(1) 减速和增速 把动力机的速度降低或增高,以适应执行系统工作的需要。

(2) 变速 当使用动力机变速不经济、不可能或不能满足要求时,通过传动系统实现变速(有级或无级),以满足执行系统多种速度的要求。

(3) 改变运动规律或形式 把动力机输出的匀速连续旋转运动转变为按某规律变化的旋转或非旋转、连续或间歇的运动,或改变运动方向,以满足执行系统的运动要求。

(4) 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转矩或力。

如果动力机的工作性能完全符合执行系统工作的要求,传动系统也可省略,而将动力机与执行系统直接连接。

(四) 框架支承系统

框架支承系统包括基础件(如床身、底座、立柱等)和支承构件(如支架、箱体等),它是用于安装和支承动力系统、传动系统、执行系统和操纵系统等,是机械系统中必不可少的部分。机械中各部件之间的相对位置及位置精度、运动部件(如工作台、刀架等)的运动精度、机械系统承载的能力等主要依靠框架支承系统来保证。根据功能及工作性能要求的不同,各种机械的框架支承系统也不同,而且对框架支承系统的有关性能(如刚度、支承面间的相对位置精度等)的要求也各不相同。

(五) 操纵控制系统

操纵系统和控制系统都是为了使动力系统、传动系统、执行系统彼此协调运行,并准确地完成整机功能的装置,二者的主要区别是操纵系统多指通过人工操作来实现上述要求的装置,通常包括起动、离合、制动、变速、换向等装置;控制系统是指通过人工操作或测量元件获得的控制信号,经由控制器,使控制对象改变其工作参数或运行状态而实现上述要求的装置,如同步机构、自动控制装置等。良好的控制系统可以使机械处于最佳运行状态,提高其运行稳定性和可靠性,并有较好的经济性。

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。

四、机械系统的功能要求

现代机械产品的功能要求非常广泛,不同机械因其工作要求、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。例如,起重机械是一种有间歇运动的机械,主要用于物品的装卸。其主要作业过程一般是从取物地点由起升机构把物品提起,由运行机构、回转机构把物品移位,到指定地点后下降以卸下物品,然后反向运动回到原位或移动到一个新的作业地点,进行下一次作业。在两次作业之间,一般有短暂的停歇。所以,起重机械工作时,各机构和构件经常处于起动、制动及正向、反向等相互交替的有停歇的运动状态中。因此,起重机械的基本功能要求是起升重量、起升高度、起升速度、运行速度、生产率、作业范围及经济性,以及工作过程的安全性、可靠性、稳定性、操纵性、周围环境的适应性等。对于汽车起重机还要求有良好的机动性,对于大跨度龙门起重机则还要求大车运行时两侧门腿移动的不同步性等。

各种机械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、运动轨迹以及移动的精确性等。
- (2) 动力要求 包括传递的功率、转矩、力等。
- (3) 体积和重量要求 如尺寸、重量、功率、重量比等。
- (4) 可靠性和寿命要求 包括机械和零部件执行功能的可靠性、零部件的耐磨性和使用寿命等。
- (5) 安全性要求 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安全性等。
- (6) 经济性要求 包括机械设计和制造的经济性、使用和维修的经济性等。
- (7) 环境保护要求 如噪声、振动、防尘、防毒、“三废”的排放和治理、周围人员和设备的安全性等。
- (8) 产品造型要求 如外观、色彩、与环境的协调性等。
- (9) 其他要求 不同机械还可有一些特殊要求,如精密机械要求长期保持精度并有良好的防振性;经常搬动的机械要求安装、拆卸、运输方便;户外型机械要求良好的防护、防腐和密封;食品和药品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和原则

机械系统设计的任务是开发新的机械产品和改造老的机械产品。机械系统设计的最终目的是为市场提供优质高效、价廉物美的机械产品,在市场竞争中取得优势,赢得用户,并取得较好的经济效益。任何好的、先进的机械产品,只有通过设计并采用当代各种先进的技术成果,才能成为现实。因此,设计体现了时代性和创造性。

机械系统设计是机械产品开发的第一道工序,产品质量和经济效益取决于设计、制造和管理的综合水平,而产品设计则是关键。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。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,产品的成本60%~70%以上取决于设计。因此,第一道设计关必须把好。

图1-2是对若干新产品开发失败原因的统计分析结果,它反映了设计中各个环节的重要性。机械系统设计中,创造性是最基本的特点,最优化是最终目标的要求。为了在给定的设计

目标下,从若干可行的设计中找到最佳的设计,特别要强调和重视的是应从系统观点出发,合理确定系统功能,增强可靠性,提高经济性,保证安全性。应注意遵循以下原则和采取相应措施。

一、满足需要原则

满足需要原则是指所设计的机械产品的性能应最大限度的满足用户的要求。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。而社会的需求是变化的,不同时期、不同地点、不同的社会环境就会有不同的市场行情和要求。产品应不断地更新改进,适应市场的变化,否则将会滞销积压,造成浪费,影响企业的经济效益,严重时甚至导致企业倒闭。所以,设计师必须确立市场观念,以社会需求作为最基本出发点。

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。产品的功能是与技术、经济等因素密切相关的。通常,随着功能的增加,产品的成本也随之上升。所以,设计师必须进行市场调查和用户访问,查清市场当前的需求和预测今后的需求,然后对产品进行功能分析,遵循保证基本功能、满足使用功能、剔除多余功能、增添新颖功能、恰到好处地利用功能的原则,力求使产品达到尽善尽美的境地。

二、可靠性原则

可靠性原则是指在规定的使用条件和规定时间内,产品能完成规定功能的可靠程度要高,即运行中不出故障。

可靠性是衡量系统质量的一个重要指标。规定功能的丧失为失效,对于可修复系统的失效也称故障。可靠性技术是研究系统发生故障或失效的原因及其预防措施的一门技术。目前,可靠性技术已开始用于机械系统设计。

(一) 衡量系统可靠性的主要指标

可靠性指标是指能对系统可靠性的程度进行定量度量的指标。常用的有下述几种:

1. 平均无故障工作时间 MTBF (MEAN TIME BETWEEN FAILURE)

平均无故障工作时间定义为可修复产品的相邻两次故障间,系统能正确工作时间的平均值。它是衡量系统可靠性的主要指标。例如:我国“机床数字控制系统通用技术条件”规定,数控系统产品可靠性验证用平均无故障时间(MTBF)作为衡量指标,具体数值应在产品标准中给出。

2. 平均修复时间 MTTR

平均修复时间定义为可修复设备在规定的条件下和规定时间之内能够完成修复的概率。它反映系统的可修复性,其实质是指排除故障的平均时间。

3. 有效度(或可利用率)A

如果把 MTBF 看作系统能工作时间,把 MTTR 看作系统的不能工作时间,那么有效度(可利用率)就是能工作时间与总时间之比,即有效度 A 为

$$A = \frac{\text{有用时间}}{\text{有用时间} + \text{平均修复时间}} = \frac{\text{平均无故障时间}}{\text{平均无故障时间} + \text{故障平均修复时间}} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

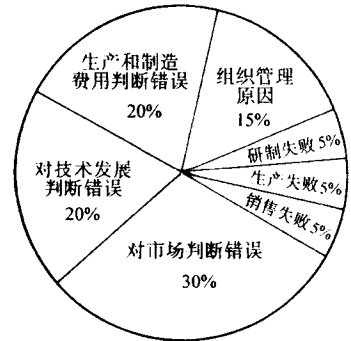


图 1-2 新产品开发失败原因分析

4. 失效率和失效率曲线(或浴盆曲线)

失效率是指系统工作到某一时刻后,在单位时间内发生故障或失效的概率,也称为故障率,一般记为 $\lambda(t)$ 。失效率曲线是一条瞬时故障率变化曲线。它描述了系统瞬时故障随时间变化的关系。

由大量统计分析资料表明,系统的失效率曲线如图 1-3 所示。该曲线恰似一个浴盆,因此又称为浴盆曲线。从失效的类型该曲线分为初期、稳定期、耗散期。初期失效与设计、制造和装配及元器件的质量有关,一般采取措施可消除。稳定期的故障较少,并主要为因操作或维护不良造成的偶发故障。耗散期,又称为磨损期,故障较多,是由于年久失修和磨损而产生的故障,说明系统的寿命将尽。由失效率曲线可知,系统在早期和耗散期,其可靠性较低。

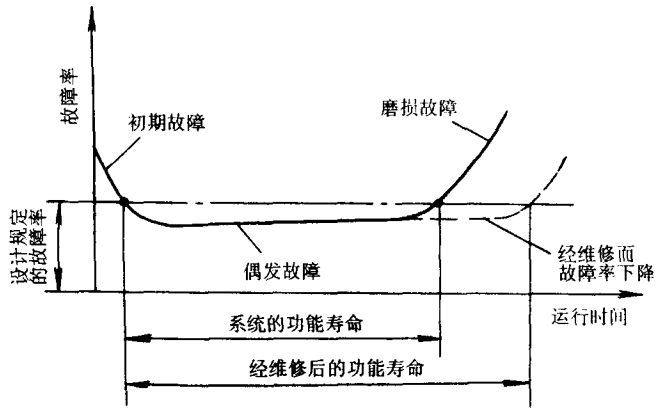


图 1-3 失效率曲线

此外,还有一些衡量可靠性的指标。如日本 FANUC 公司的 CNC 系统,采用的是平均月故障率作为可靠性的主要指标。

(二) 提高机械系统可靠性的措施

提高系统可靠性的最有效方法是进行可靠性设计。进行可靠性设计时必须掌握影响可靠性的各种设计变量的分布特性和数据,建立从研究、设计、制造、试验直至管理、使用和维修以及评审的一整套可靠性计划。当缺乏这些必要的数据和统计变量时,了解影响机械系统可靠性的因素,采取下述一些措施,对提高机械系统可靠性也是有益的。

1. 分析失效,查找原因

机械系统工作时,由于各种原因难免发生故障或失效。如果能在研究和设计阶段对可能发生的故障或失效进行预测和分析,掌握其原因,并采取相应的措施,则系统的失效率将会减小,可靠性也随之提高。为了使失效分析做得比较全面和切合实际,应该对现有系统或同类系统进行质量调查和用户访问,收集失效实例,分析失效原因,对重要的系统还应建立失效档案,特别是对典型的重大失效案例召开分析会,请有关专家和人员进行详尽分析,以此积累经验和资料,作为指导和改进设计的借鉴。

2. 把可靠性设计用到零部件中去

实践表明,机械系统的可靠性主要是由设计决定的,而制造、管理等其他阶段的工作只是起保证作用。如果设计时考虑不当,不能使零部件具有必要的可靠性,则无论制造得多么好、维护得多么精心,都无法弥补设计中的缺陷。

机械系统的可靠性是由零部件的可靠性保证的,只有零部件的可靠性高,才能使系统的可靠性高。但是,并不意味着全部零部件都要有高的可靠性,对系统可靠性有关键影响的零部件通常是系统的重要环节,这些零部件必须保证其必要的可靠性,设计时从整体的、系统的观点详细分析其输入、输出,尽量减少不稳定因素的干扰。

3. 提高维修性

维修是保持功能或恢复功能的技术措施。维修性是指在规定的条件下和规定的时间内按规定的程序和方法进行维修时,保持和恢复系统规定功能的能力。因此,维修性也可看作是维护系统可靠性的能力。

在正常运行时期,如能进行良好的维修,及时更换磨损、疲劳和老化的零部件,则系统的使用寿命可以延长,如图 1-3 中虚线所示,经良好维修的系统其故障率明显下降。

维修性应在设计阶段就要进行考虑,使系统具有良好的维修性,易于检查和发现故障,便于维修。如把系统的薄弱环节(易损件)尽量做成独立部件或采用标准件,并设计成容易拆卸和更换的结构等。

三、经济合理原则

经济合理原则是指所设计机械产品应该结构先进、功能好、成本低、使用维修方便,在产品的寿命周期内,用最低的成本实现产品的规定功能,即物美价廉。

降低产品成本是提高经济效益的关键,设计师应该了解影响产品成本的设计因素和制造因素,在保证产品功能要求的前提下,努力降低产品成本。从设计角度来说主要有以下几个方面措施。

1. 合理确定可靠性要求和安全系数

可靠性要求应根据系统的重要程度、工作要求、维修难易和经济性要求等多方面的因素综合考虑确定。采用可靠性设计,可以使系统设计得更合理、更经济,系统愈复杂,其优越性也愈明显,经济性和可靠性愈可趋于统一。在选取安全系数值时,考虑可靠性的要求。当可靠性要求高时,安全系数值可相应取大些,反之可取小些。当设计数据分布的离散程度较大时,安全系数值取大些,反之取小些。安全系数与经济性密切相关。

2. 采用新技术

随着科学技术的发展,各种新技术(包括新产品、新方法、新工艺、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,因而具有更强的竞争力。设计人员要善于学习和掌握各种新技术,不断充实和改进产品。

3. 改善零部件结构工艺性

零部件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。良好的工艺性是减小劳动量、提高生产率、缩短生产周期、降低材料消耗和制造成本的前提,也是实现设计目标、减少差错、提高产品质量的基本保证。

影响结构工艺性的因素很多,如生产批量、设备和工艺条件、原材料的供应等。当生产条件改变时,零部件的结构往往也随之改变。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,设计应根据具体情况进行具体分析。

改善零部件结构工艺性的具体措施、原则和规范,可参阅有关设计手册和资料。

4. 提高产品的效率

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,也是提高其效率的重要途径。机械设备的效率主要取决于传动系统和执行系统的效率,传动系统的效率通常与传动的结构型式、运动副的工作表面性态、摩擦润滑状况、润滑剂种类和润滑方式以及工作条件等有关,执行系统的效率主要决定于执行机构的效率,它与机构类型、机构参数有关。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。

5. 合理确定经济寿命

一般说来,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适当的。由图 1-3 故障曲线可知,系统正常运行的寿命是可以延长的,但必须以相应的维修为代价。使用寿命愈长,系统的性能愈差,效率愈低,相应的使用费用(包括维修保养、操作、材料及能源消耗等费用)愈多,使用经济性愈低,此时应考虑设备更新。

同时,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,或是由于企业生产规模的发展、产品品种的扩大或改变等,这也是应考虑更新设备的原因。

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。根据设备使用费用最低、经济效益最高所确定的寿命称为经济寿命。通常,设备的经济寿命要比功能寿命短。

通过技术经济分析,合理确定机械设备的经济寿命,适时更新设备,是促进企业技术进步、不断提高企业经济效益的措施之一。

四、标准化原则

标准化原则是指所设计的机械产品的规格、参数应符合国家标准,零部件应能最大限度地与同类产品的零部件通用,同一产品中的零部件尽可能互换,产品应成系列发展,以使用较少的品种、规格,满足各类用户的需要。

标准化是组织现代化大生产的重要手段,也是实施科学管理的重要基础之一。标准化可以使生产技术活动获得必要的统一协调和最好的经济效果。实施标准化是国家的一项重要技术法规。标准化的水平,是衡量设计现代化程度的一个重要标志。

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) 基础标准 它是以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订的标准,如计量单位、优先数系、公差配合、图形符号、名词术语等标准。

(2) 方法标准 它是以生产技术活动中的重要程序、规划、方法为对象制订的标准,如设计计算、工艺、测试、检验等标准。

(3) 产品标准 它是以产品及其生产过程中使用的物质器材为对象制订的标准,如机械设备、仪器仪表、工装、包装容器、原材料等标准。

我国标准分国家标准、部标准(专业标准)和企业标准三级。国家标准和部标准的适用面虽然有所不同,但都是全国性的。各级标准在规定的范围内具有约束力,国家标准是各部门都必须遵照执行的法规。

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。

标准化创造的经济效益体现在很多方面,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,提高了产品质量和劳动生产率,改善了维修性等。因此,在设计中贯彻标准化,提高标准化程度和水平,将直接提高产品的质量和经济性。

五、安全性原则

安全性原则是指要保证操作者的安全和机械设备本身的安全,以及保证设备对周围环境无危害。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一机一环境系统的安全性。

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. 人一机—环境系统的安全性

机械是为人类服务的,同时它又在一定的环境中工作,人、机、环境三者构成了一个特定的系统。在机械工作时,不仅机械本身应有良好的安全性,而且对使用机械的人员及周围环境也应有良好的安全性。人机工程学就是研究人、机、环境系统安全性的一门新兴学科。

人机工程学的着眼点是人、机、环境之间的“接口”,把人作为系统的一个组成部分,以人为主体,研究人、机、环境之间的相互作用和协调,使机械能更好地适宜于人体的各种体能特点和要求,便于操作和使用,既安全可靠又舒适宜人,消除对人身构成伤害的各种危险因素,使人类的生存环境能得到良好的保护和改善。

第三节 机械系统设计的方法

一、概述

(一) 设计的内涵及种类

英文 Design(设计),它源于拉丁语 Designar,由 De(记下)与 Signare(符号、记号、图形等)两词组成。因此,“设计”的最初含义为将符号、记号、图形之类记下来的意思。随着生产的不断发展和科学技术的进步,设计的内涵不断向深度和广度发展,设计的含义愈来愈深刻。当今设计的含义是:设计是人们根据客观需求,改造自然的基本活动,设计是复杂的思维过程,设计过程蕴含着创新和发明。设计的目的是将预定的目标,经过规划与分析决策,产生一定的信息(文字、数据、图形),即形成设计,并通过制造,使设计成为产品,以满足人类的需求。根据系统论原理,人一机—环境组成了一个完整的总系统,他们之间相互作用影响着。因此,设计基本上可归为四大类:环境设计、系统设计、产品设计和零件设计。

(1) 环境设计 环境设计主要是指环境本身的设计,包括区域规划,房屋、道路、桥梁等设计,为人们提供工作、学习、生活、活动空间。

(2) 系统设计 系统设计主要是指构成系统整体的设计,根据系统的不同,分为流系统设计和结合系统设计,其中结合系统设计往往与产品设计相仿,因此可纳入产品设计中。

(3) 产品设计 产品设计是指由许多零部件甚至是子系统集装而成的整体,以实现一种或一组功能的设计,包括结合系统的设计。例如发电机、汽车、电动机和泵的设计。这类设计一般较复杂。方案构思,总体设计,零件的材料、尺寸、结构形状、加工要求以及零件间的装配等方面的变化往往对产品的性能、质量和成本影响很大。

(4) 零件设计 零件设计是指不能再分解的、由单一材料组成的这种单元体的设计。大多数情况,零件的设计需要单独设计。常用零件的设计,如有标准件或通用件,设计时只需注意规格的选择及互换性要求。

通过上述人一机—环境间的相互关系的剖析,设计可归为四类。但实际中,由于设计项目的不同,设计类型的侧重是不同的,有的侧重于环境设计、有的侧重于流系统或产品设计,也有

的涉及全部设计类型。

在所有的机械设计中 75% 的机械是已经设计过的,有样机可供参考,有 25% 的机械是未曾设计过的,无样机参考。从有无样机可供参考的角度,机械设计可分为三类:开发性设计、适应性设计和变型设计。

(1) 开发性设计 在设计原理、结构等完全未知的情况下,从对产品的抽象要求出发,设计出过去没有的新产品(新型机械)。这是一完全创新的设计。

(2) 适应性设计 在原理方案基本保持不变的前提下,对产品作局部的变更或设计一个新部件,使产品在质和量方面更能满足使用要求。

(3) 变型设计 在工作原理和功能结构都不变的情况下,变更现有产品的配置和尺寸,使之适应于容量(如功率、转矩、尺寸范围、转速范围等)方面所变更的要求。

在机械产品设计中,开发性设计目前还占少数,为了充分发挥现有机械产品的潜力,适应性设计和变型设计就显得格外重要。

(二) 传统设计与现代设计

1. 传统设计

传统设计是指经验设计和半理论半经验设计。20 世纪以前,人们主要依靠个人的才能和经验,运用一些基本设计计算理论,借助类比、模拟和试凑等设计方法来进行设计的,称为经验设计。一般而言,经验设计只能满足基本的功能要求,在成本,性能,质量诸方面都有很大局限性。

本世纪来,图样设计法替代了试凑法大大提高了设计的效率和质量,减少了设计中的浪费。随着科技的进步,实验手段的加强,进行了设计理论和方法的研究,进一步提高了设计水平,称为半理论半经验设计。主要表现在三个方面:①加强设计基础理论和各种专业产品设计机理的研究,如材料应力应变、摩擦磨损理论、零件失效与寿命的研究、内燃机原理与设计、机床、刀具设计等,从而为设计提供了大量信息,如设计数据、图表图册、数据手册等。②加强关键零部件的设计研究。整机设计成功与否往往决定于关键零部件,50 年代后期,人们开始加强了关键零部件的模拟试验,大大提高了设计速度和成功率。③加强了“三化”研究,即零件标准化、部件通用化、产品系列化。半理论半经验设计与经验设计相比,大大减少了设计的盲目性,有效地提高了设计效率和质量,降低了产品成本。

传统设计至今仍被广泛采用。但传统设计方法存在它的不足,主要表现在:

1) 从理论上讲,这些设计理论主要集中在揭示具体设计对象的内在机理上,而未能将“设计”本身作为一门学科来加以研究。

2) 从设计方法论讲,传统设计法未能将局部与系统、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加以统一起来,融汇贯通于整个设计中,因而在设计方法上仍有较大的局限性。

3) 从设计本质讲,任何设计都包含有创造性的思维过程。这正是设计工作不同于其他工作的一个根本特征。然而,传统设计法未能将创造性设计提到应有的高度来认识和研究。

2. 现代设计

现代设计是现代广义设计和分析科学方法的统称。它是以十一论(突变论、智能论、系统论、离散论、信息论、对应论、优化论、控制论、功能论、模糊论及艺术论)方法学作为理论基础,得以迅速发展的,并且已成为了一门多元综合而成的新兴交叉学科——现代设计方法学。现代

设计包括一系列新兴学科分支,主要有创造性设计、系统化设计、优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计(CAD)、模块化设计、反求工程和有限元法、工业艺术造型设计、模型试验设计、机械动态设计和价值工程等。其中不少技术已日趋成熟,并得到广泛的应用。

现代设计与传统设计的比较见表 1-1。现代设计在设计指导思想、设计对象、设计方法和设计手段都有着显著特点和先进性。从设计指导思想来看,它由过去的经验、类比方法提高到逻辑的、理性的、系统的新设计方法;从设计对象上来看,它考虑了人、机、环境的相互协调,从而发挥产品的最大潜力或提高系统的有效性;从设计方法来看,它广泛采用 CAD、优化设计、可靠性设计、工业艺术造型设计、创造性设计,使设计水平有一个质的飞跃;从设计手段上来看,它充分采用电子计算机、自动绘图和数据库管理等。这样大大提高了数据的准确性、稳定性和数据效率,并且使修改设计十分方便。

表 1-1 现代设计与传统设计的比较

特点	现 代 设 计		传 统 设 计
逻辑性	逻辑的系统的方法		经验的类比的方法。功能原理分析较少。收敛性思维。过早进入具体方案 自然优化。设计—评定—再设计……,从各种设计方案中选取较好方案。优化过程凭借有限设计人员的知识、经验和判断力。受人和时间的限制,难以对多变量系统在广泛的影响因素下进行定量优化
	设计方法学(德)	创造性设计学(美)	
	从抽象到具体的发散的思维方法;“功能—原理—结构”框架为模型的横向变异和纵向组合。用计算机构造设计目录,获得各种方案,优化选出最佳方案	在知识、手段和方法不充分的条件下,运用创造技术,充分发挥想象进行辩证思维,形成创新构思和设计	
市场性	市场指导设计的思想贯穿始终		专业技术主管指导设计
经济性	从功能分析、原理方案确定、结构方案确定到造型设计等每一步骤,都要进行尽可能量化的技术—经济分析		设计过程中注意技术性。设计制造完毕进行经济分析、成本核算
创造性	保持创造冲动。突出创新意识。强调抽象的设计构思。扩展发散的设计思维。运用创造技法,探索多种可行的创新方案。最广泛的评价决策		封闭收敛的设计思维。过早进入定型实体结构。直接的主观决策
并行性	从概念形成到产品报废处理的所有部门有关人员,通过计算机网络并行交叉工作		设计、制造、销售、服务等部门分段顺序工作。报废产品用户自行处理
系统性	用系统工程方法赋予产品性能,构造产品结构,进行产品设计。分析人一技术系统—环境和技术系统内部各因素的有机联系,力求整体优化		建立在经验基础上的产品开发、仿造或改型
规范性	从产品规划、总体设计、技术设计、施工设计到试制改进的整个设计进程,都要全面考虑,按统一规范的计划步骤进行		按各人经验决定设计步骤
CA 化	设计全过程中,计算机不但用于计算和绘图,且在信息运用、市场预测、评价决策、造型宜人、动态模拟、人工智能等方面,将全面运用计算机,建立自动设计系统		传统的绘图、运算工具和报告、讨论制度

(三) 机械系统设计过程

1. 机械系统设计一般程序

机械设计过程并没有一个通用的固定的顺序,而须按具体情况确定,图 1-4 所示为机械设计的一般程序。可分为明确任务(或拟定计划)、方案设计、技术设计和施工设计四个阶段。

(1) 明确任务 机械系统设计首先必须明确设计任务和要求,对于开发性设计必须进行